

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(институт)

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника
направленность (профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ
ВИБРАЦИОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО
ГРАНУЛЯТОРА

Студент(ка)

И.В. Жариков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.В. Прядилов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018

Аннотация

Объем 82 с., 10 рис., 1 табл., 31 источника

ВИБРАЦИОННЫЙ ПРИВОД, ГРАНУЛЯТОР

Объектом исследования является система питания вибрационного привода для химического гранулятора

Цель работы: разработка системы питания вибрационного привода для химического гранулятора

Задачи работы:

1. Обзор существующих решений
2. Разработка силовой части схемы.
3. Разработка системы управления
4. Расчет схем и выбор элементов
5. Разработка программы управления

Работа состоит из трех глав, в которых решены упомянутые задачи.

Для расчета и моделирования режимов работы индуктора использовался программный пакет Elcut 5.1. Математические расчеты проводились с использованием пакета MathCad 15.

Степень внедрения: произведены теоретические расчеты и математическое моделирование

Областью применения данной работы являются химические технологии гранулирования веществ.

Содержание

Введение.....	4
1. Состояние вопроса.....	7
1.1. Формулирование актуальности, цели и задач проекта.....	7
1.2. Анализ исходных данных и известных решений.....	7
2. Конструкция вибропривода.....	12
3. Силовая схема системы питания вибропривода.....	14
3.1. Разработка силовой схемы системы питания вибропривода.....	14
3.3. Выбор элементов силовой схемы.....	20
4. Система управления.....	24
4.1. Разработка блок-схемы алгоритма работы системы управления.....	24
4.2. Обзор продукции основных фирм-изготовителей микроконтроллеров.....	29
4.3. Выбор микроконтроллера и его описание.....	32
4.4. Разработка схемы управления системы управления.....	36
4.5. Выбор элементов схемы системы управления.....	41
4.6. Разработка блока питания системы управления.....	46
4.7. Разработка блок-схемы программы для микроконтроллера.....	48
4.8. Составление программы.....	58
4.9. Отладка программы и средства программирования.....	58
Заключение.....	62
Список используемой литературы.....	64
Приложение А.....	67
Приложение Б.....	70

Введение

В настоящее время в различных отраслях промышленности, особенно в химической, широко используются гранулированные продукты. Это объясняется преимуществом гранул по сравнению с порошкообразной, жидкой и пастообразной формами веществ. Большое внимание уделено исследованиям, разработке теории процессов гранулирования [14], а также созданию и совершенствованию оборудования для приготовления гранул – грануляторов.

Производительность грануляционного оборудования и качество получаемых гранул в значительной степени определяется как конструкцией грануляторов, так и режимами их работы. В основу конструкций данных устройств положено свойство струи жидкости распадаться на равномерные капли, что достигается периодическим изменением скорости ее истечения из отверстий перфорированной или пористой оболочки [22]. Данный режим работы наиболее эффективно обеспечивает вибрационная техника. Использование вибрационных грануляторов позволяет получить в большинстве технологических процессов экономически более выгодные и высококачественные результаты [22].

Общий вид одного из вариантов конструкций виброгрануляторов с перфорированной вращающейся оболочкой представлен на рис. В.1. Основным элементом конструкции гранулятора является чашеобразное перфорированное днище 1, плоская центральная неперфорированная часть 2 которого соединена при помощи стержня 3 с виброприводом 4. Подача гранулируемого вещества в полость перфорированного днища 1 осуществляется через трубу 5, связанную с кольцевым каналом 6, переходящим в распределитель 7. Для сепарирования пузырьков воздуха и предотвращения засорения отверстий истечения случайными твердыми

частицами после распределителя 7 устанавливается сетка 8. Для выхода воздуха при сепарировании в корпусе гранулятора 9 имеются отверстия 10. Гранулятор размещается в камере 11, в которой предусмотрены отверстия для выхода гранулированного вещества 12 и вентиляции 13, а также установлены вентиляторы 14.

Устройство работает следующим образом. Вещество, предназначенное для гранулирования, подается в направлении 15 и заполняет полость днища 1. Далее оно проходит через отверстия истечения днища 1, создавая струи вещества в пространстве камеры 11. При работе вибропривода 4 днище 1 совершает колебательное движение, в результате которого происходит дробление струй на равномерные капли. Падая в камере 11 навстречу потоку охлаждающего воздуха 16, капли застывают и превращаются в гранулы. Гранулы осыпаются на наклонную (воронкообразную) поверхность днища камеры в направлении 17 попадают в отверстие для выхода гранулированного вещества 12.

В зависимости от последующего применения гранулированного сырья, к нему предъявляются различные требования [14]. Основным является получение максимально равномерных по размерам капель: большинство гранул (90%) должны иметь строго определенный диаметр (целевая фракция 2-3мм); гранулы диаметром меньше 1 мм считаются мелкими, а больше 4 мм – крупными и в совокупности должны составлять не более 10%. Наиболее типичными среди крупных гранул являются гранулы с удвоенной массой, что свидетельствует о столкновении и слиянии гранул в полете. Причиной такого столкновения может быть некоторая разность скоростей капель, обусловленная истечением вместе с плавом мелких частиц шлама, спонтанной электризацией капель разноименными зарядами при распаде струй, но существенным фактором является нестабильность работы вибропривода. Таким образом, выбор типа и конструкции вибропривода играет решающую роль.

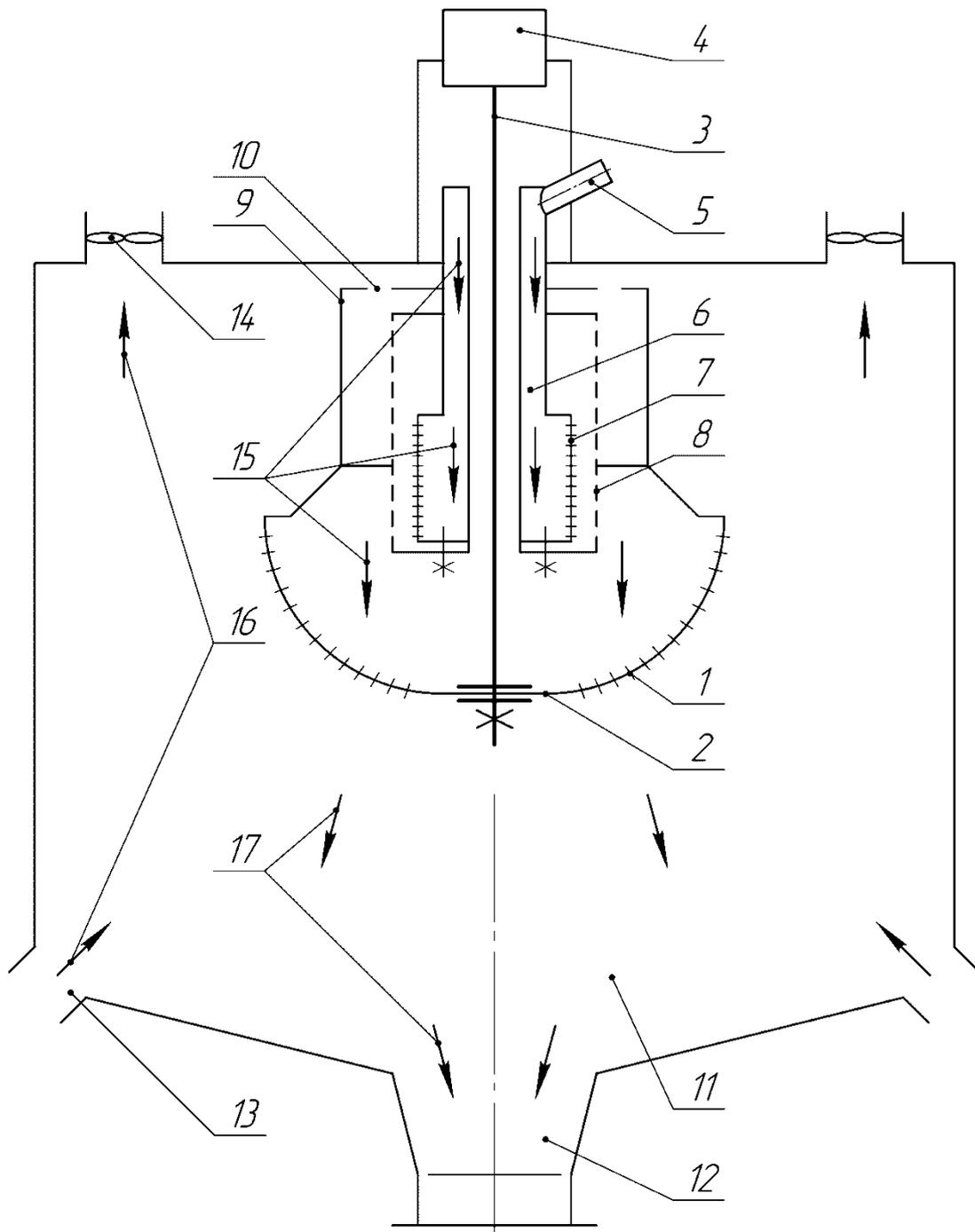


Рис. В.1. - Общий вид виброгрануляционного аппарата

1. Состояние вопроса

1.1. Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Актуальность работы обусловлена современными тенденциями в развитии систем управления, направленными в сторону использования микроконтроллеров.

Цель работы: разработка микроконтроллерной системы питания вибрационного привода для химического гранулятора.

Задачи работы:

1. Обзор существующих решений
2. Расчет и математическое моделирование магнитной системы
3. Разработка силовой части схемы.
4. Разработка системы управления
5. Расчет схем и выбор элементов

1.2. Анализ исходных данных и известных решений

В настоящее время известны следующие основные типы виброприводов: электромагнитные; электродинамические; гидравлические; индукционно-динамические; пьезоэлектрические и эксцентриковые.

Наиболее широко используемым типом является пневматический дисбалансный вибропривод. Он представляет собой крыльчатку с эксцентриком (дисбалансом, получаемым просверливанием в крыльчатке отверстий) вращается под действием потока воздуха. Частота вибрации,

соответствующая частоте вращения крыльчатки, регулируется изменением скорости потока воздуха. В конструкциях виброгрануляторов предусмотрен выброс отработанного воздуха вместе с плавом в канал подачи вещества в перфарированную оболочку.

Указанный вибропривод имеет следующие основные недостатки. Работа на частотах от 300 до 600 Гц сопровождается сильным износом подшипников. При невысоком качестве подшипников происходит быстрый выход из строя оборудования, ремонт которого (замена подшипников) невозможен без остановки производства. Кроме того, для нормальной работы подшипников требуется смазка, подача которой осуществляется по 2-3 капли в минуту вместе со сжатым воздухом в крыльчатку. Т.к. отработанный воздух вместе с маслом выбрасывается в общий канал с гранулируемым веществом, то в зависимости от сочетания со смазочным веществом может образоваться взрывоопасная смесь. Например, селитра (а так же некоторые другие вещества) в сочетании со смазочным маслом становится взрывоопасным веществом. Хотя концентрация масла в конечном продукте очень мала и опасность взрыва не велика, однако с точки зрения техники безопасности даже низкая концентрация является нежелательной.

Одним из самых передовых технических средств воспроизведения вибраций на сегодняшний день является электромагнитный вибропривод, отличающийся высокой надежностью, низким уровнем шумообразования, простотой производства и эксплуатации. Данное устройство является электромеханической системой, состоящей из механической части (упругих элементов и массы) и электрических цепей (катушек возбуждения). Принцип действия вибропривода такого типа основан на возбуждении колебаний рабочего органа (якоря) путем воздействия на него переменным магнитным полем. Схема подвески и конструкция магнитопровода могут быть самыми разнообразными и выбираются в соответствии с назначением и условиями работы вибропривода.

Сотрудниками НИЛ-6 ТГУ разработано несколько вариантов конструкций электромагнитного вибропривода, проведены экспериментальные исследования изготовленных виброприводов. Макетные образцы виброприводов для химической промышленности построены на базе электромагнита традиционной конструкции: два электромагнита с одним общим якорем. Вариант двухтактного электромагнитного вибропривода, изображенного на рис.1.1, представляет собой конструкцию с плоским якорем и имеет на заданное усилие меньшие массогабаритные показатели по сравнению с конструкцией, представленной на рис.1.2. Последняя конструкция менее требовательна к точности выставления немагнитного зазора между якорем и индукторами. Оба варианта обеспечивают работу в диапазоне частот от 300 до 1000 Гц при длительном режиме и температуре окружающей среды от 0 до +50°С. Перемещение рабочего органа не более 15 мкм, а максимальное усилие, развиваемое электромагнитом, составляет 1000Н.

Для формирования в обмотках вибропривода импульсов тока, приводящих к возникновению электромагнитной силы, используется система питания, силовая часть которой реализована на силовых быстродействующих тиристорах. Система управления силовыми тиристорами построена КМОП логике с использованием интегральных таймеров в качестве формирователей временных интервалов между возбуждающими импульсами.

На современном этапе развития микроэлектронной и микропроцессорной техники решение задач управления силовой частью системы питания представляется возможным с использованием микроконтроллеров (МК) массового применения. Данные устройства объединяют в себе все передовые технологии и имеют высокое быстродействие, точность, надежность работы, а также обладают минимальным энергопотреблением и массогабаритными показателями. При всем разнообразии ассортимента необходимо отметить доступность цен,

простоту в освоении и применении МК, а также огромное количество разнообразной информационной и программной поддержки разработчиков.

Применение микроконтроллерной системы управления позволит избавиться от непроизводительного труда, направленного на подбор и поиск подходящих компонентов, разработки сложной схмотехники, реализованной на микросхемах жесткой логики. Имеется возможность существенного сокращения элементного состава системы управления, организации непосредственного взаимодействия органов управления и индикации с МК без дополнительных устройств согласования. Основная нагрузка разработчика при этом приходится на составление управляющей программы для МК. Имея представление о задачах, решаемых системой управления, составляется алгоритм ее работы, на основании которого производится составление и отладка программы.

Таким образом, МК позволит существенно упростить схмотехнику системы управления, обеспечить высокую надежность и долговечность работы устройства, удобство и высокую точность настройки системы. Кроме того, МК лучшим образом подходит для разработки опытных образцов изделий, отладки и настройки устройства. Предполагается, что устройство управления системы питания электромагнитного вибропривода, реализованное на МК, позволит добиться высоких экономических показателей и улучшить основные технические параметры.

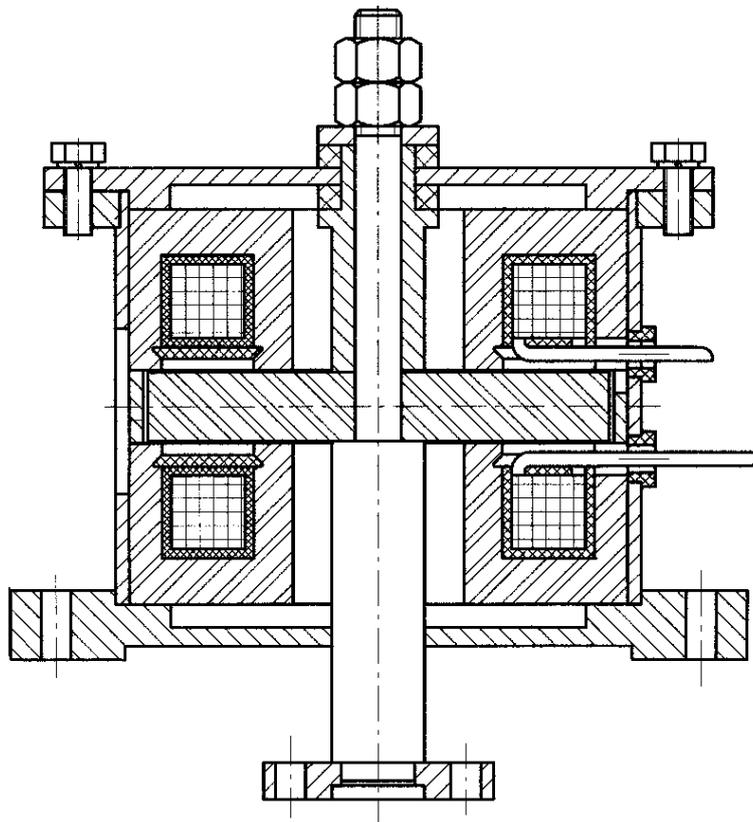


Рис.1.1. - Электромагнитный вибропривод с плоским якорем

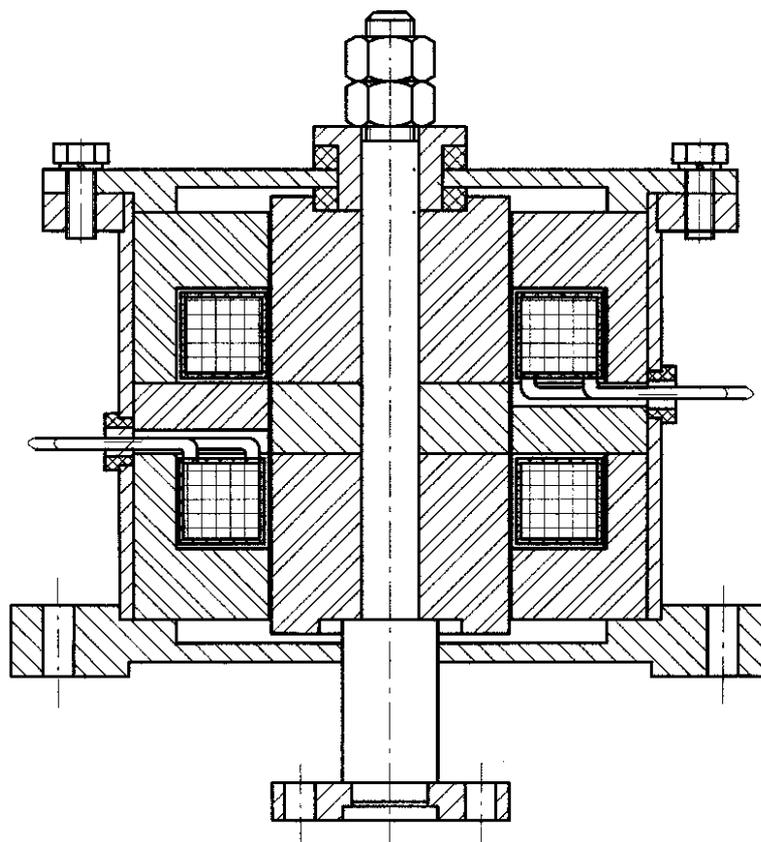


Рис.1.2. - Электромагнитный вибропривод с цилиндрическим якорем

2. Конструкция вибропривода

Вибропривод должен обеспечивать заданные параметры: амплитуду усилия 500Н, непрерывный режим работы на частоте от 300 до 400 Гц с нагрузкой 10 кг. Кроме передачи вибрации в нагрузку, конструкция вибропривода должна предусматривать возможность вращения рабочего органа.

Данным требованиям удовлетворяет существующая конструкция электромагнитного вибропривода цилиндрической формы с плоским якорем, изображенная на рис.2.1.

Вибропривод состоит из двух индукторов 9, якоря 8 и двух обмоток 3 (верхней и нижней). Индуктора расположены в корпусе 10 с крышкой 4, который жестко крепится к опорной поверхности основанием 2. Якорь 8 соединяется с массой 1, имитирующей нагрузку, при помощи сборного штока 5,11. К штоку якорь прижимается втулкой 7. Вертикальное позиционирование якоря относительно индукторов осуществляется с помощью упругих колец 6. Между кольцами и крышкой корпуса существует небольшой зазор, позволяющий штоку с якорем вращаться относительно корпуса. В экспериментальной модели вибропривода необходим датчик ускорения 12, закрепленный в нижней части штока. Корпус вибропривода должен крепиться на неподвижном основании.

Вибрация, передаваемая в нагрузку, осуществляется за счет поочередного притяжения якоря к индукторам двухтактного двухобмоточного электромагнита, являющегося генератором знакопеременной силы. Притяжение якоря происходит за счет возникновения электромагнитной силы, создаваемой обмотками вибропривода при поочередной подаче в них импульсов тока.

Для обеспечения вибраций в указанном диапазоне частот, а также условия вращения нагрузки, в качестве магнитопровода используется магнитный материал из прессованного порошка (магнетодиэлектрика) типа КММ [9]. Электротехническая сталь не пригодна для этих целей в связи с необходимостью ее шихтовки для уменьшения вихревых токов, наводимых в магнитопроводе. Шихтовка не позволяет обеспечить возможность нормального вращения якоря.

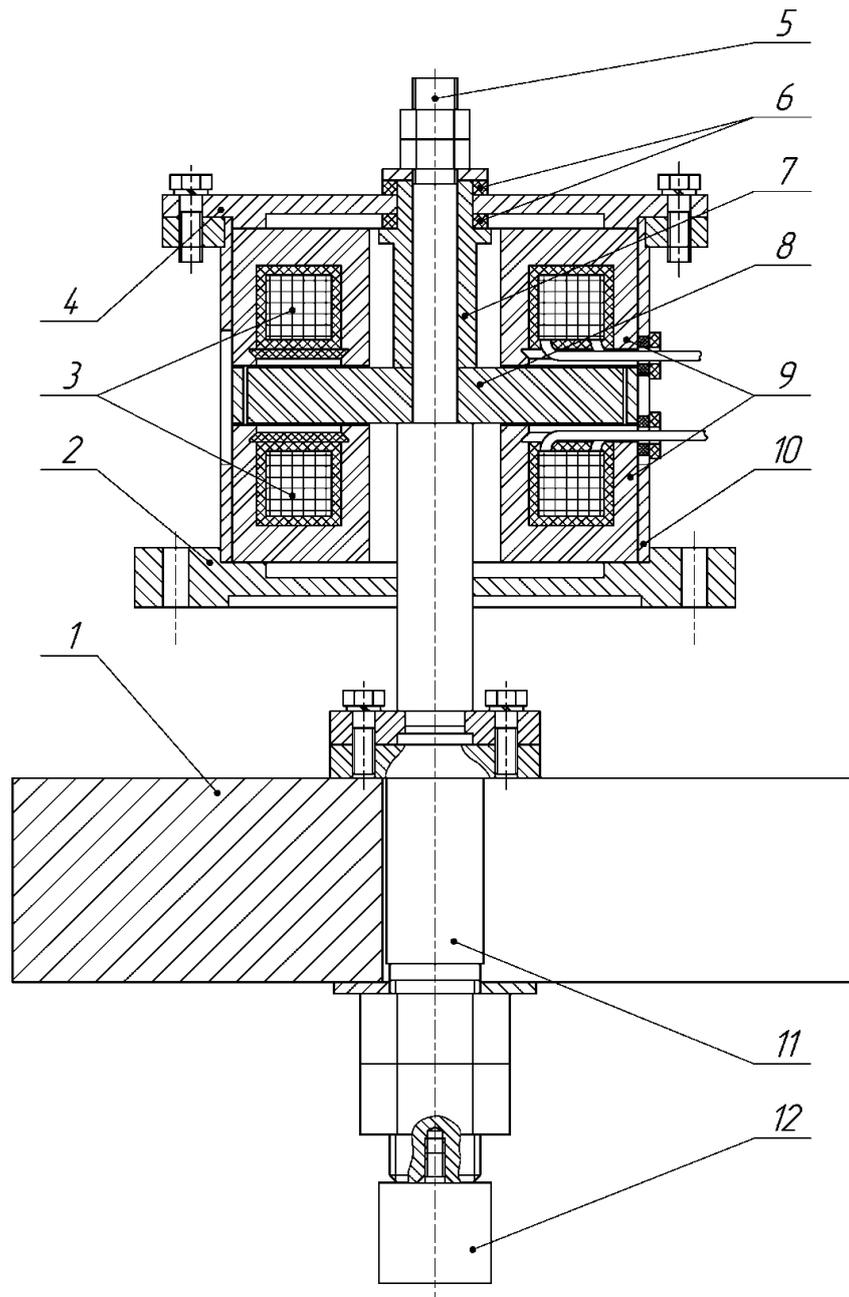


Рис.2.1. - Эскиз электромагнитного вибропривода

3. Силовая схема системы питания вибропривода

3.1. Разработка силовой схемы системы питания вибропривода.

Система питания вибропривода (СПВ) предназначена для формирования импульсов тока, преобразуемых электромагнитной системой в механические колебания. Обмотки электромагнита обладают большой индуктивностью, что может быть использовано для создания в электрической цепи колебательного контура. Формирование импульсов тока в обмотках производится за счет разряда на них предварительно заряженного конденсатора. Функцию поочередного перезаряда конденсатора через обмотки индуктора выполняет силовая часть системы питания (СЧСП). Наиболее простой вариант предполагает наличие двух тиристоров, включенных между собой встречно-параллельно, в цепь каждого из которых последовательно включена обмотка электромагнита. Для восполнения порции электрической энергии, преобразованной в механическую, при перезаряде конденсатора, необходима система заряда емкостного накопителя (СЗЕН). СЗЕН должна преобразовывать сетевое напряжение переменного тока в постоянное напряжение нужного уровня для заряда емкостного накопителя (ЕН), а также обеспечивать возможность регулирования уровня напряжения на нем. В тактах работы СЧСП должна восполнять потери энергии заряда конденсатора от ЕН.

Принципиальная электрическая схема СПВ, удовлетворяющая указанным требованиям, представлена на рис.3.1. Как было отмечено ранее, данное схемотехническое решение разработано сотрудниками НИЛ-6 ТГУ и представляет собой один из наиболее простых вариантов силовой части системы питания.

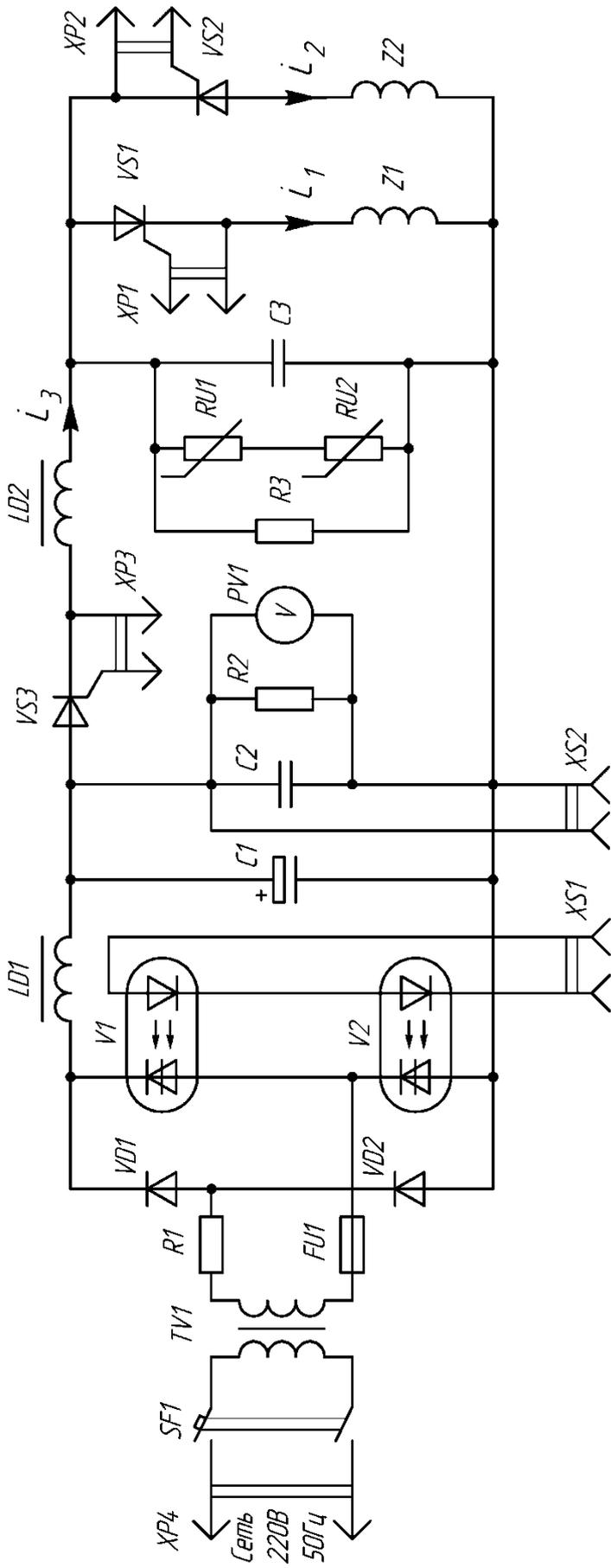


Рис. 3.1.1. - Принципиальная электрическая схема системы питания вибропривода

Кроме того, была проделана работа по теоретическому расчету магнитной системы вибропривода, моделированию и проверке правильности расчетов с помощью программного пакета расчета магнитных полей Eсult, а также созданию конструкции устройства и его испытаниям.

Результаты расчетов при величине немагнитного зазора 0,5мм показали, что для обеспечения заданного амплитудного усилия 500Н, развиваемого виброприводом, сила тока, протекающего через обмотку электромагнита, составляет 47А. При этом величина создаваемой намагничивающей силы составляет 1180А, а энергия, запасаемая в магнитном поле, составляет 0,864Дж.

Источником питания СПВ служит однофазная сеть переменного напряжения 220В, 50Гц. Для согласования уровня напряжения и гальванической развязки схемы с промышленной сетью применили согласующий трансформатор TV1. Для ограничения бросков тока на вторичной стороне трансформатора необходим балластный резистор R1. Защиту установки при аварийных ситуациях обеспечивают плавкий предохранитель FU1 и автоматический выключатель SF1.

Напряжение с трансформатора выпрямляется управляемым мостовым выпрямителем, реализованном на диодах VD1, VD2 и двух оптотиристорах V1, V2. Для фильтрации выпрямленного напряжения и ограничения тока необходим сглаживающий фильтр, выполненный на основе дросселя LD1. Напряжение с выпрямителя прикладывается к ЕН, реализованному на двух параллельно включенных конденсаторах С1 и С2. Для визуального контроля напряжения заряда ЕН применили измерительный прибор PV1. Для разряда ЕН при отключении системы питания необходим шунтирующий резистор R2. Таким образом, управляемый выпрямитель с сглаживающим фильтром и ЕН представляют собой СЗЕН.

Силовая часть системы питания содержит конденсатор С3 с шунтирующим резистором R3 для сброса заряда при отключении системы.

Для защиты от перенапряжения параллельно конденсатору $C3$ поставили два варистора $RU1$ и $RU2$. Для поочередного перезаряда конденсатора $C3$ через обмотки $Z1$ и $Z2$ необходимы тиристоры $VS1$ и $VS2$, каждый из которых включен последовательно с соответствующей обмоткой. Таким образом, часть энергии при перезаряде будет преобразовываться в механическую. Восполнение данной энергии обеспечивают $C3EN$ и зарядный тиристор $VS3$, при открытии которого происходит дозаряд конденсатора $C3$ от EN . Последовательно с зарядным тиристором включили дроссель $LD2$, обеспечивающий колебательный характер протекания тока через тиристор $VS3$ и его естественную коммутацию по окончании процесса подзаряда.

Временные диаграммы токов обмоток, напряжения конденсатора и импульсов управления тиристорами силовой схемы представлены на рис.3.2.

Положительная полуволна тока i_1 подается в верхнюю обмотку и приводит к возникновению электромагнитной силы, действующей на якорь вверх, а отрицательная полуволна тока i_2 – вниз. Направление тока i_2 не совпадает с направлением на схеме, поэтому на диаграмме полуволна тока расположена в отрицательной области. Полуволна тока подзарядки i_3 определяет порцию энергии, добавляемую в механический контур от источника питания на каждом периоде колебаний и идущую на покрытие потерь за это время. Ток подзарядки не вызывает электромагнитную силу, так как не протекает ни по одной из обмоток.

Предположим, что до момента времени t_1 все тиристоры закрыты, конденсатор $C3$ заряжен до определенного значения U_1 (см. рис.3.2). В момент времени t_1 подается управляющий импульс на тиристор $VS1$. При этом начинает протекать ток i_1 по цепи: $C3 - VS1 - Z1 - C3$. Этот процесс носит колебательный характер, в результате чего конденсатор $C3$ перезаряжается до напряжения обратной полярности и величины U_2 , меньшей чем U_1 . Процесс перезаряда $C3$ заканчивается в момент времени t_2 , когда ток i_1 достигает нулевого значения и тиристор $VS1$ закрывается.

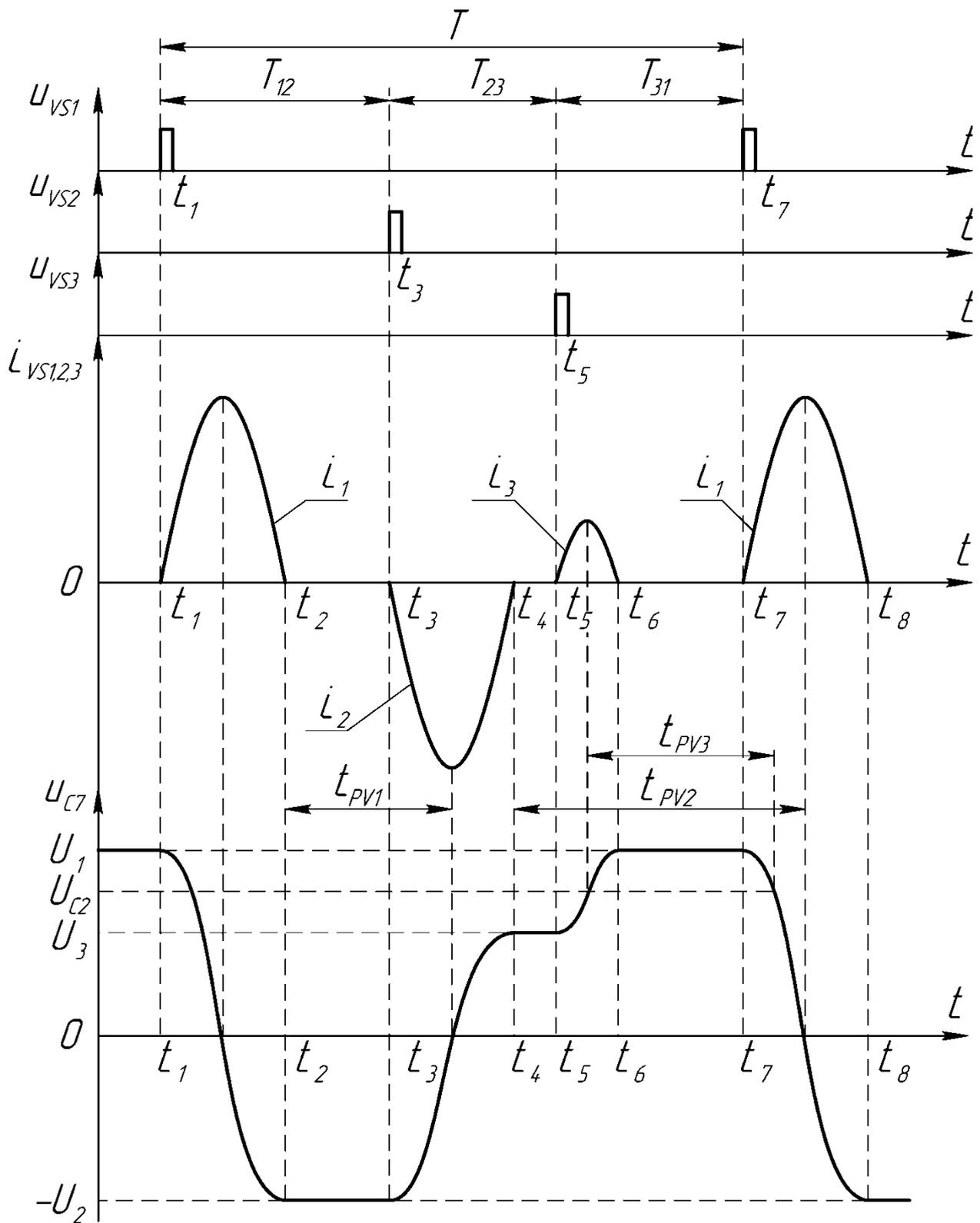


Рис.3.2. - Временные диаграммы токов и напряжений системы питания электромагнитного вибропривода

С момента времени t_2 , под действием напряжения U_2 , приложенного к VS1 в обратном направлении, тиристор восстанавливает запирающие свойства. На восстановление запирающих свойств тиристорному отводится интервал времени t_{pV1} (см. рис. 3.2).

В момент времени t_3 подается управляющий импульс на тиристор VS2 и начинает протекать ток i_2 по цепи: C3 – VS2 – Z2 – C3. Конденсатор C3 перезаряжается до напряжения обратной полярности и величины U_3 , меньшей, чем U_2 . Процесс перезаряда конденсатора заканчивается в момент времени t_4 , когда ток I_2 достигает нулевого значения и тиристор VS2 закрывается. В процессе прохождения тока по обмоткам Z1 и Z2 теряется часть энергии конденсатора C3, из-за чего уровень напряжения U_1 меньше U_3 (см. рис.3.2). Для компенсации этих потерь в момент t_5 подается управляющий импульс на зарядный тиристор VS3, и i_3 протекает по цепи: C2 – VS3 – LD2 – C3 – C2. Фильтрующий конденсатор C2 необходим для зарядки конденсатора C3. Конденсатор C3 дозаряжается от значения U_3 до первоначального значения U_1 . Благодаря зарядному дросселю LD2 процесс дозаряда имеет колебательный характер, по окончании которого напряжение на конденсаторе C3 превышает напряжение емкостного накопителя C2 и к тиристорному VS3 прикладывается обратное напряжение, определяемое их разностью. При этом тиристор VS3 закрывается и восстанавливает запирающие свойства с момента времени t_6 до момента открытия тиристора VS1 (интервал времени t_{pV3}). Далее все процессы в схеме повторяются.

Обращаем внимание на то, какое время отведено каждому тиристорному для восстановления запирающих свойств: тиристорам VS1, VS2 – до тех пор, пока напряжение на конденсаторе C3 не станет нулевым, а для VS3 – до тех пор, пока не откроется первый тиристор VS1.

3.3. Выбор элементов силовой схемы.

Для обеспечения гальванической развязки и понижения напряжения, питаемого СЗЕН, в качестве трансформатора TV1 использовали однофазный силовой трансформатор с номинальным первичным напряжением 220В, номинальным вторичным напряжением 380В и номинальной мощностью 0,63кВА [22]. Так как трансформатор является повышающим, подключение осуществили с учетом изменения его сторон, чтобы при подключении TV1 к промышленной сети 220В, на выходе трансформатора было 127,3В действующего значения переменного напряжения частоты 50 Гц.

В качестве диодов VD1 и VD2 управляемого моста выбрали диодный модуль МДД 80-12, содержащий сразу два диода, а в качестве оптотиристоров V1 и V2 – тиристорный модуль МТО ТО1-80-15-3, который также содержит два тиристора сразу [13, 5]. Для защиты схемы модули выбрали на больший ток 80А и напряжение 1200 и 1500В соответственно.

В качестве балластного резистора R1 выбрали марку ПЭ-75-4,7Ом±5% [15]. В качестве средств защиты установки применили плавкий предохранитель FU1 типа ПП57-31271-У3 [12] и автоматический выключатель SF1 типа ВА47-29 С16 [12].

По известным значениям амплитудного тока, величиной 47А, протекающего по обмоткам электромагнита, и напряжения на конденсаторе С3, величиной 180В, а также с учетом требуемого быстродействия, определяемого периодом одного импульса, равным 250 мкс, в качестве тиристоров VS1 и VS2 выбрали марку ТБ151-63-9-454 [17].

Для выбора зарядного тиристора VS3, с учетом синусоидальности процесса подзаряда, рассчитали амплитудное значение тока подзаряда по формуле:

$$I_{VS3m} = \frac{W}{\pi \cdot t_p \cdot U} = \frac{0,864}{3,14 \cdot 150 \cdot 10^{-6} \cdot 180} = 10,18 \text{ А}, \quad (3.1)$$

где W – энергия магнитного поля, Дж; приняли равной 0,864 Дж по п.3.2;

t_p – длительность подзаряда, с; приняли равной 150 мкс в соответствии с временными диаграммами (см. рис.3.2);

U – среднее значение напряжения на выходе СЗЕН, В; приняли равным 180В в соответствии с п.3.2.

По рассчитанному значению тока I_{VS3m} , возможному в схеме максимальному обратному напряжению U_{VS3} , равному 360В и времени восстановления запирающих свойств тиристора t_{PV3} , равному 200 мкс, в качестве тиристора VS3 выбрали тип T122-25-12 [17].

По известному значению запасаемой энергии и напряжению на конденсаторе С3, определили величину его емкости по формуле:

$$C_3 = \frac{2 \cdot W}{(1,3 \cdot U)^2} = \frac{2 \cdot 0,864}{(1,3 \cdot 180)^2} = 31,55 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}. \quad (3.2)$$

Приняли величину емкости равной 30мкФ. С запасом по напряжению на конденсаторе С3, выбрали тип МБГО-300В-30мкФ с допуском 10% [8].

Варисторы RU1 и RU2 выбрали исходя из того, что сумма падений напряжения на них должна быть не меньше амплитудного значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора, составляющего 180В. Выбрали марку TVR204-31-100В .

Конденсатор С2, в связи с работой на больших частотах должен быть высокочастотным и хорошо стабилизировать напряжение в схеме. В качестве него выбрали высокочастотный конденсатор К57-17-1кВ-50мкФ±20% [8]. Конденсатор С1, включенный параллельно С2, обеспечивает стабилизацию напряжения в схеме, в связи с чем он должен обладать емкостью на порядок большей, чем С2. В качестве конденсатора С1 выбрали марку JACKCON-350В-470мкФ с допуском 10%.

В качестве резисторов R2 и R3 выбрали тип МЛТ-2-150кОм±10% [15] на максимально возможную для данного типа резисторов мощность рассеяния 2Вт, так как назначением данных элементов является рассеяние энергии заряда конденсаторов С2 и С3 при выключении СПВ.

Для ограничения тока заряда емкостного накопителя экспериментальным путем определили параметры дросселя LD1, который представляет собой ферритовое кольцо с намотанными на него двумя витками провода.

Зарядный дроссель LD2 представляет собой кольцо, выполненное из пресованного порошка (магнитодиэлектрика) типа КММ [9], с намотанными витками изолированного провода. Максимальная магнитная индукция данного материала составляет 1,3 Тл. Задались необходимыми геометрическими размерами магнитопровода дросселя:

- внешний диаметр кольца D , мм: 54;
- внутренний диаметр кольца d , мм: 28;
- высота кольца h , мм: 10.

Определили площадь кольца по формуле:

$$S = \frac{D-d}{2} \cdot h = \frac{54-28}{2} \cdot 10 = 130 \text{ мм}^2. \quad (3.3)$$

Индуктивность дросселя определили из соотношения:

$$L = \frac{t_p}{\pi^2 \cdot C_3} = \frac{(150 \cdot 10^{-6})^2}{3,14^2 \cdot 30 \cdot 10^{-6}} = 75,99 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}. \quad (3.4)$$

Рассчитали среднюю длину пути прохождения магнитного потока из выражения:

$$l_{cp} = \pi \cdot \frac{D+d}{2} = 3,14 \cdot \frac{54+28}{2} = 128,7 \text{ мм}. \quad (3.5)$$

Объем кольца рассчитали по формуле:

$$V = S \cdot l_{cp} = 130 \cdot 10^{-6} \cdot 128,7 \cdot 10^{-3} = 16,745 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (3.6)$$

Определили магнитную проводимость по формуле:

$$G = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l_{cp}} = 45,4 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{130 \cdot 10^{-6}}{128,7 \cdot 10^{-3}} = 5,76 \cdot 10^{-8} \quad \text{Гн}, \quad (3.7)$$

где μ_0 - магнитная постоянная, Гн/м; приняли равной 1,256 мкГн/м.

Рассчитали необходимое число витков дросселя по формуле:

$$w = \sqrt{\frac{L}{G}} = \sqrt{\frac{75,99 \cdot 10^{-6}}{5,76 \cdot 10^{-8}}} = 36,3 \approx 36 \quad \text{ВИТКОВ}. \quad (3.8)$$

Рассчитали ток насыщения дросселя по формуле:

$$I_m = \frac{B_m \cdot l_{cp}}{\mu \cdot \mu_0 \cdot w} = \frac{1,3 \cdot 0,129}{45,4 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 36} = 81,69 \quad \text{А}. \quad (3.9)$$

Максимальную магнитную энергию, запасаемую в дросселе, определили по формуле:

$$W_m = \frac{B_m^2 \cdot l_{cp} \cdot S}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} = \frac{1,3^2 \cdot 0,129 \cdot 130 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 45,4 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6}} = 0,25 \quad \text{Дж}. \quad (3.10)$$

Полученные величины тока насыщения и магнитной энергии находятся в допустимых пределах, поэтому расчет проведен правильно.

Таким образом, зарядный дроссель LD2 с заданными геометрическими размерами, количеством витков, равным 36, обладает необходимой для обеспечения колебательного процесса индуктивностью 76 мкГн.

4. Система управления

4.1. Разработка блок-схемы алгоритма работы системы управления

В разрабатываемом устройстве управления задание режима работы и настройка СПВ осуществляется следующими органами:

- орган управления работой СЗЕН;
- орган управления работой СЧСП;
- орган регулирования угла управления выпрямителя СЗЕН;
- орган регулирования частоты работы СПВ.

Для визуального наблюдения за ходом действий, отрабатываемых системой, необходимы индикаторы:

индикатор готовности (работы) микроконтроллерной системы управления;

- индикатор работы СЗЕН;
- индикатор работы СЧСП;
- индикатор предварительного заряда ЕН;
- индикатор ошибки работы СЗЕН;
- индикатор аварийной ситуации СПВ.

Система управления должна выполнять следующие функции:

- предварительный заряд ЕН при вступлении в работу СЗЕН;
- поддержание заряда на ЕН в отсутствии работы СЧСП;
- подачу управляющих импульсов на силовые тиристоры при вступлении в работу СЧСП;
- отслеживание сигнала с датчика фазы напряжения сети (ДФНС);
- отсчет угла управления выпрямителем и подачу управляющих импульсов на оптотиристоры СЗЕН;

- отслеживание сигнала с датчика напряжения емкостного накопителя (ДНЕН);
- опрос состояния органов управления и переход к заданному режиму работы;
- индикацию состояния системы и текущего режима работы.

Вступление системы питания в работу требует предварительного заряда конденсатора С3 (см. рис.3.1). Предварительный заряд должен начинаться с момента включения тумблера работы СЗЕН. Он заключается в подаче пакета управляющих импульсов на зарядный тиристор VS3 для обеспечения его открытого состояния и передачи энергии с конденсатора С2 в С3. Чем меньшее приращение имеют уровни напряжений на конденсаторах при заряде, тем более благоприятно происходит предварительный заряд. Кроме этого следует производить контроль предварительного заряда и подачу импульса управления на тиристор VS3 в отсутствие работы СЧСП.

Наиболее подходящим вариантом организации предварительного заряда является подача управляющих импульсов на зарядный тиристор VS3 с частотой работы выпрямителя СЗЕН, т.е. в цикле с подачей импульса управления на оптотиристоры выпрямителя. Контроль предварительного заряда, в упрощенном представлении, заключается в счете подаваемых импульсов управления с одновременным отслеживанием напряжения на ЕН по сигналу с ДНЕН. Если по окончании отсчета заранее определенного количества импульсов напряжение на ЕН не достигнет нужного уровня, система управления остановит работу СЗЕН и выдаст индикацию ошибки. До момента предварительного заряда ЕН недопустимо включение в работу СЧСП. При попытке включить тумблер работы СЧСП системе управления необходимо остановить работу и произвести индикацию ошибки. Если предварительный заряд был произведен корректно, то до момента включения в работу СЧСП необходимо продолжение подачи управляющего импульса на

зарядный тиристор VS3 с тем, чтобы напряжение ЕН оставалось на прежнем уровне.

После вступления в работу СЗЕН, предварительного заряда ЕН и соответствующей индикации, включение тумблера работы СЧСП приводит к завершению подачи пакета управляющих импульсов на тиристор VS3 и началу работы СЧСП. Для предостережения возможного аварийного режима, связанного с изменением полярности напряжения на конденсаторе СЗ, перед началом работы СЧСП, в первую очередь осуществляется подача импульса управления на тиристор VS2. Из этих же соображений при выключении тумблера работы СЧСП, завершение цикла необходимо делать после работы VS2.

Возможен вариант выключения тумблера работы СЗЕН во время работы СЧСП, что позволяет завершить работу СПВ наиболее эффективно, так как вся энергия, запасенная в ЕН, при этом будет преобразована в механические колебания вибропривода. Однако повторное включение тумблера СЗЕН, при работающей СЧСП, должно сопровождаться выдачей ошибки работы СЗЕН и остановом работы СПВ.

С учетом вышеприведенных требований к системе управления, ее составу и решаемых системой задач управления, необходимо произвести алгоритмизацию ее работы. Для адекватного представления решения воспользовались графическими средствами изображения алгоритма и составили блок-схему алгоритма работы микроконтроллерной системы управления, изображенную на рис.4.1.

Полученная блок-схема алгоритма дает полное представление об уровне функциональности МК и может быть использована при его выборе.

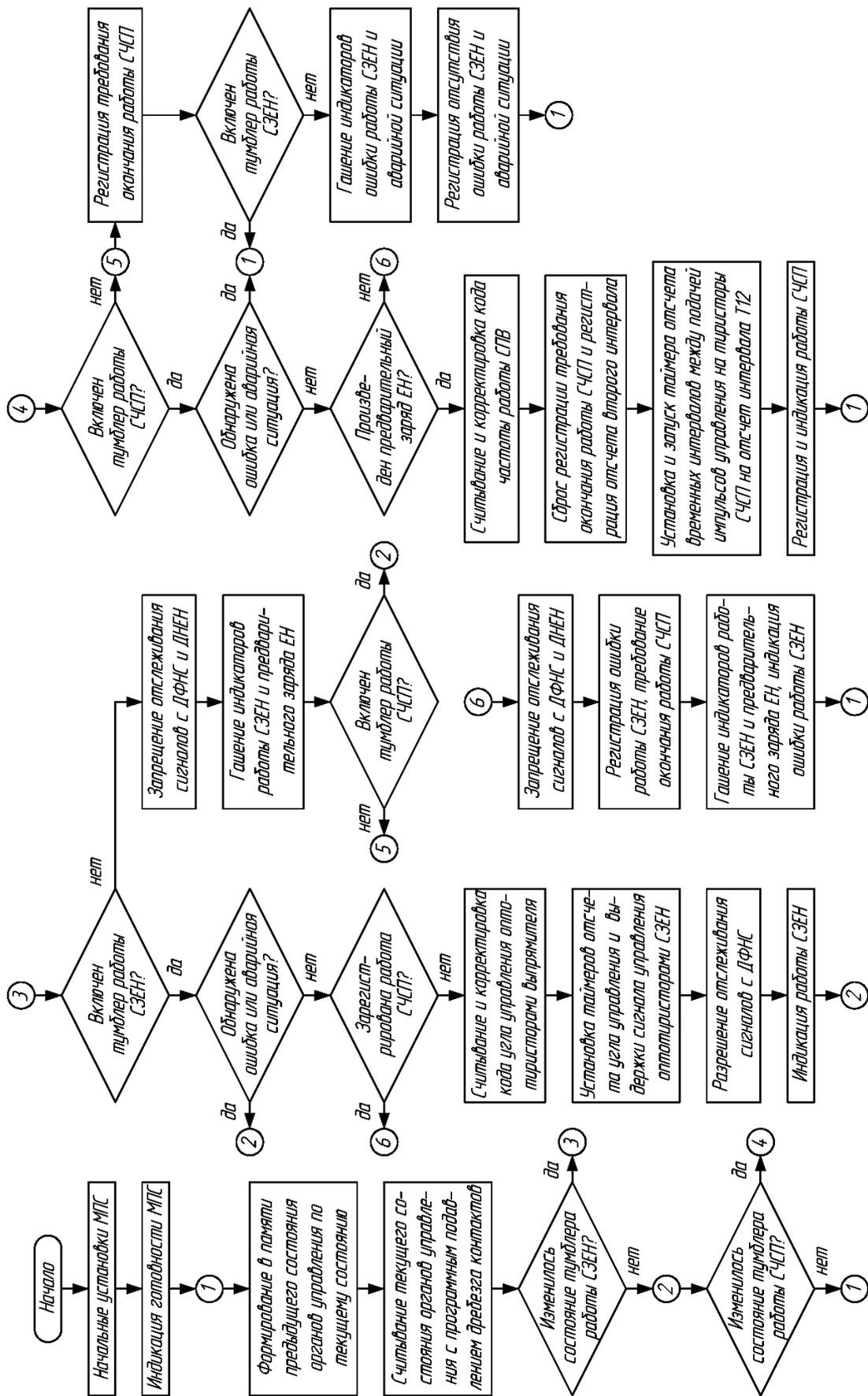


Рис. 3.1а. - Блок-схема алгоритма устройства управления системой питания вибропривода

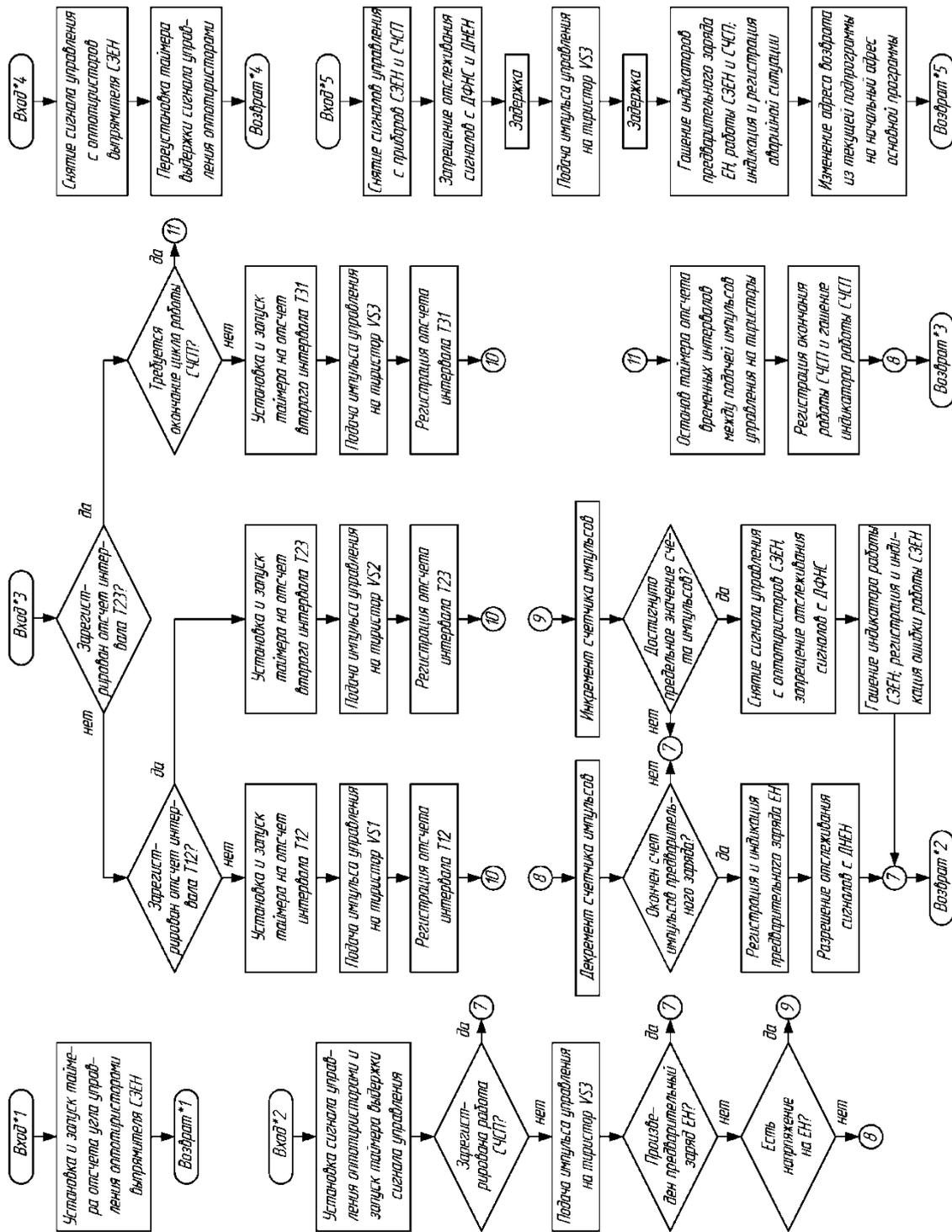


рис. 5.10. - блок-схема алгоритма управления системой питания вибропривода

4.2. Обзор продукции основных фирм-изготовителей микроконтроллеров.

МК является базовым элементом разрабатываемой системы управления. Его характеристики и параметры во многом определяют свойства всей системы.

Исходя из анализа задач, решаемых данной системой, необходимо определиться с тем, какое семейство контроллеров является наиболее подходящим. Выбор конкретного типа МК производится по критериям стоимости, надежности, быстродействия и функциональности.

В настоящее время основными производителями восьмиразрядных МК являются американские фирмы Atmel, Intel и Microchip.

Продукция фирмы Intel как правило используется в микропроцессорных системах поддержки компьютерных сетей, обработки видео изображений, в системах управления приводами, энергетическими установками, роботами и т.д. вплоть до систем управления летательными аппаратами. Данные изделия преимущественно ориентированы на управление событиями в реальном времени и управления процессами. Уровень МК фирмы Intel превышает необходимый и не подходит для целей данной работы.

Из продукции компании Microchip наиболее подходящими являются 8-разрядные универсальные МК серии PIC (PICmicro). Платформа PIC-контроллеров имеет Гарвардскую архитектуру ядра, обеспечивая выборку команды за один цикл, а также эффективный программный код. Фирма Microchip производит широкий ассортимент МК. Из них необходимо отметить МК среднего семейства (префикс – PIC16C или PIC16F). Они имеют быстродействие до 20МГц, могут содержать энергонезависимую память данных EEPROM, однократно или многократно (Flash) программируемую память программ. Также большинство из МК данного

семейства дополнительно содержат различные модули: ADC (АЦП), DAC (ЦАП), PWM (ШИМ), Comp (аналоговый компаратор), WDT (сторожевой таймер), модули синхронного последовательного порта и поддерживают режим пониженного энергопотребления SLEEP. Однако, среднее семейство PIC имеет не совсем удобную организацию памяти и систему прерываний, что делает его сложным в освоении. Стоимость МК данной серии находится преимущественно в средней и высокой ценовых категориях (от 100 до 300 руб.).

Кроме PIC-контроллеров среднего семейства популярна серия PIC12XXX, стоимость которых не высока (от 40 до 80 руб.), однако эти МК имеют всего 8 выводов. Более совершенные серии – PIC17XXX и PIC18XXX представляют из себя 28/40-выводные высокоскоростные Flash МК с 10-разрядным АЦП. Их цена составляет от 200 до 400 руб. Таким образом, продукция Microchip не является достаточно подходящей. Несмотря на это необходимо отметить высокий уровень поддержки разработчиков, а также доступность и полноту технической документации на русском языке. Также фирма Microchip предоставляет широкую номенклатуру инструментальных средств: интегрированная среда проектирования MPLAB IDE, среда генерации объектного кода MPASM, MPLAB-C, программный симулятор MPLAB-SIM и многое другое.

Фирма Atmel выпускает широкий спектр МК с различными архитектурами. Новая разработка фирмы – AVR-технология на основе расширенной RISC архитектуры (префикс AT90S). Аналогично PICmicro в AVR контроллере выборка очередной инструкции производится за один цикл тактового генератора. В большинстве же других МК внутренний цикл формируется делением частоты тактового генератора в 4 – 12 раз. Среди 8-битных МК они обладают высокими показателями производительность/потребляемая мощность. Для работы с МК предлагается широкий набор программного обеспечения: пакет AVR

STUDIO, содержащий ассемблер и симулятор, AVRASM (MS-DOS версия) и WAVASM (под управлением WIN3.1X, WIN95/NT), а также компилятор языка С. Стоимость AVR МК фирмы Atmel находятся в диапазоне от 80 до 250 руб.

Классическое семейство МК фирмы Atmel с архитектурой MCS-51 (префикс AT89X) обладает относительной простотой и невысокой стоимостью (от 40 до 180 руб.). На данный момент производится более 50 разновидностей МК этого семейства. Архитектура и базовая система команд МК 51-го семейства отличаются относительной простотой и надежностью. Большинство типов МК данного семейства не имеют некоторых модулей (АЦП, ЦАП, аналоговых компараторов), однако их функциональность достаточна для решения широкого круга задач.

Помимо выбора самого МК необходимо учесть средства его программирования – программатор и программное обеспечение к нему. Программаторы могут быть универсальными, т.е. поддерживающими большое количество различных типов МК, либо специализированными, имеющими более простую конструкцию и рассчитанными на конкретный тип МК. Универсальные программаторы сложны в изготовлении, стоимость же готовых высока (от нескольких тыс. руб. и более). Специализированные программаторы менее сложны в изготовлении и существует множество сайтов с описанием принципиальных схем программаторов, отдельных его узлов, а также бесплатно распространяемым программным обеспечением. Тем не менее, поиск и изготовление нужного программатора требует дополнительных расходов и времени.

Сегодня почти все необходимое для программирования встроено в сам МК, а число выводов, соединяемых с программатором, сокращено до минимума. Аппаратная часть программаторов для таких МК во многих случаях представляет собой простой буфер, согласующий логические уровни сигналов одного из портов компьютера и МК, либо отсутствует вообще.

Программирование может осуществляться внутрисхемно, т.е. непосредственно на плате готового устройства, где установлен МК, по периферийному последовательному интерфейсу (SPI). Данный интерфейс позволяет осуществлять быстросействующую синхронную передачу данных между МК и периферийными устройствами или между несколькими МК. Таким образом, поддержка последовательного программирования в МК исключает необходимость в программаторе при программировании.

4.3. Выбор микроконтроллера и его описание

В качестве базового элемента системы управления выбрали МК фирмы Atmel AT89S53 в 40-выводном PDIP корпусе. Ядро МК серии AT89S полностью аналогично MCS-51 и имеет дополнительные ресурсы: последовательное программирование (SPI Serial Interface for Program Downloading), сторожевой таймер (Watchdog Timer), режим энергосбережения (Low-power Idle and Power-down Modes) и 9 источников прерывания, 3 16-битных таймера/счетчика, 6 векторов прерывания и др. Объем Flash ПЗУ МК составляет 12К x 8 бит, а ОЗУ – 256 x 8 бит, диапазон тактовых частот от 0 до 24 МГц, количество линий ввода/вывода 32 (4 порта).

Выбор данного типа МК обусловлен низкой стоимостью, высокой надежностью работы, приемлемой функциональностью, достаточной для решения поставленных задач, достаточным количеством портов ввода/вывода информации и объемом памяти программ. Кроме того, МК имеет Flash память программ, рассчитанную на 1000 и более циклов перепрограммирования, а также поддерживает SPI интерфейс, благодаря чему он наилучшим образом подходит как для разработки опытного образца изделия на МК.

Расположение выводов описываемого контроллера представили на рис.4.2, назначение выводов – в табл.4.1.

(T2) P1.0	□	1	40	□	VCC
(T2 EX) P1.1	□	2	39	□	P0.0 (AD0)
P1.2	□	3	38	□	P0.1 (AD1)
P1.3	□	4	37	□	P0.2 (AD2)
(\overline{SS}) P1.4	□	5	36	□	P0.3 (AD3)
(MOSI) P1.5	□	6	35	□	P0.4 (AD4)
(\overline{MISO}) P1.6	□	7	34	□	P0.5 (AD5)
(SCK) P1.7	□	8	33	□	P0.6 (AD6)
RESET	□	9	32	□	P0.7 (AD7)
(RXD) P3.0	□	10	31	□	\overline{EA}/VPP
(TXD) P3.1	□	11	30	□	ALE/ \overline{PROG}
($\overline{INT0}$) P3.2	□	12	29	□	\overline{PSEN}
($\overline{INT1}$) P3.3	□	13	28	□	P2.7 (A15)
(T0) P3.4	□	14	27	□	P2.6 (A14)
(T1) P3.5	□	15	26	□	P2.5 (A13)
(\overline{WR}) P3.6	□	16	25	□	P2.4 (A12)
(\overline{RD}) P3.7	□	17	24	□	P2.3 (A11)
XTAL2	□	18	23	□	P2.2 (A10)
XTAL1	□	19	22	□	P2.1 (A9)
GND	□	20	21	□	P2.0 (A8)

Рис. 4.2 - Наименование выводов микроконтроллера AT89S53

Таблица 4.1 - Краткое описание выводов микроконтроллера AT89S53

Обозначение вывода	№ вывода	Тип вывода	Назначение
1	2	3	4
P0.0 – P0.7	-	Входы/ выходы	Выводы двунаправленного порта P0
P1.0 (T2)	1	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – вход для задания внешнего счета таймера/счетчика 2
P1.1 (T2EX)	2	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – детектор захвата/перезагрузки и управления таймером/счетчиком 2
P1.2 – P1.3	-	Входы/ выходы	Выводы двунаправленного порта P1
P1.4 (\overline{SS})	5	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – вход выбора ввода
P1.5 (MOSI)	6	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – выход основных данных/вход дублирующих данных для канала SPI
P1.6 (\overline{MISO})	7	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – вход дублирующих данных/вывод основных данных для канала SPI
P1.7 (SCK)	8	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – выход генератора сигнала CLOCK передачи данных/вход дублирующего сигнала CLOCK для канала SPI
RESET	9	Вход	Сброс в начальное состояние и переход к начальному адресу исполнения программы при единичном уровне на входе в течение нескольких десятков периодов тактового генератора
P3.0 (RxD)	10	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – вход приемника последовательного порта

Продолжение табл.4.1

1	2	3	4
P3.1 (TxD)	11	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – выход передатчика последовательного порта
P3.2 $\overline{INT0}$	12	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – вход запроса прерывания 0
P3.3 $\overline{INT1}$	13	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – вход запроса прерывания 1
P3.4 (T0)	14	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – вход таймера/счетчика 0
P3.5 (T1)	15	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – вход таймера/счетчика 1
P3.6 (\overline{WR})	16	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – запись: сигнал низкого уровня формируется аппаратно при обращении к внешней памяти данных
P3.7 \overline{RD}	17	Вход/ выход	Вывод двунаправленного порта P1. Альтернативная функция вывода – чтение: сигнал низкого уровня формируется аппаратно при обращении к внешней памяти данных
XTAL2	18	Вход	Вывод для подключения кварцевого резонатора либо внешнего тактового генератора
XTAL1	19	Выход	Вывод для подключения кварцевого резонатора либо внешнего тактового генератора
GND	20	Питание	Земля. Соединяется с общим проводом
P2.0 – P2.7	-	Входы/ выходы	Выводы двунаправленного порта P2
\overline{PSEN}	29	Выход	Вывод для подключения к МК внешней памяти
ALE	30	Выход	Вывод тактирующего сигнала с частотой в 6 раз ниже, чем частота тактирующих импульсов
\overline{EA}/VPP	31	Вход	Вывод для выбора расположения памяти программ: лог. «1» - на кристалле, лог. «0» - из внешней памяти
P0.0 – P0.7	-	Входы/ выходы	Выводы двунаправленного порта P0
Vcc	40	Питание	Напряжение питания +3...5В

4.4. Разработка схемы управления системы управления.

Предварительным этапом разработки электрической схемы системы управления является анализ элементного состава системы. В данном случае под элементом системы понимается отдельная ее часть, выполняющая определенные функции. Наиболее полное представление о составе СПВ и взаимосвязях между элементами системы дает функциональная схема, представленная на рис.4.3.

Принципиальная электрическая схема СПВ с устройством управления, реализованном на МК AT89S53, представлена на рис.4.4.

В систему управления через разъем X1 подается напряжение питания +15В постоянного тока, необходимого для формирования сигналов управления тиристорами СЧСП и оптотиристорами СЗЕН, -15В питания датчика тока, и стабилизированное напряжение +5В, необходимое для питания МК и сопряженных с ним устройств.

Сопряжение МК с внешними элементами микроконтроллерной системы управления произвели в соответствии с рекомендациями технической документации и правилами построения устройств на однокристальных микроконтроллерах [19]. Выводы 20 и 40 питания МК соединили с общим проводом и шиной питания +5В соответственно. Кварцевый резонатор ZQ1 соединили с выводами 18 (XTAL2) и 19 (XTAL1) МК. Для более стабильного запуска выводы кварцевого резонатора соединили с общим проводом через конденсаторы С2 и С3 емкостью в пределах от 20 до 40 пФ. Так как МК использует только внутреннюю память программ, то на вывод 31 (\overline{EA}/VPP) необходима подача логической единицы, для чего данный вывод соединили с шиной питания через резистор R11 сопротивлением несколько десятков кОм.

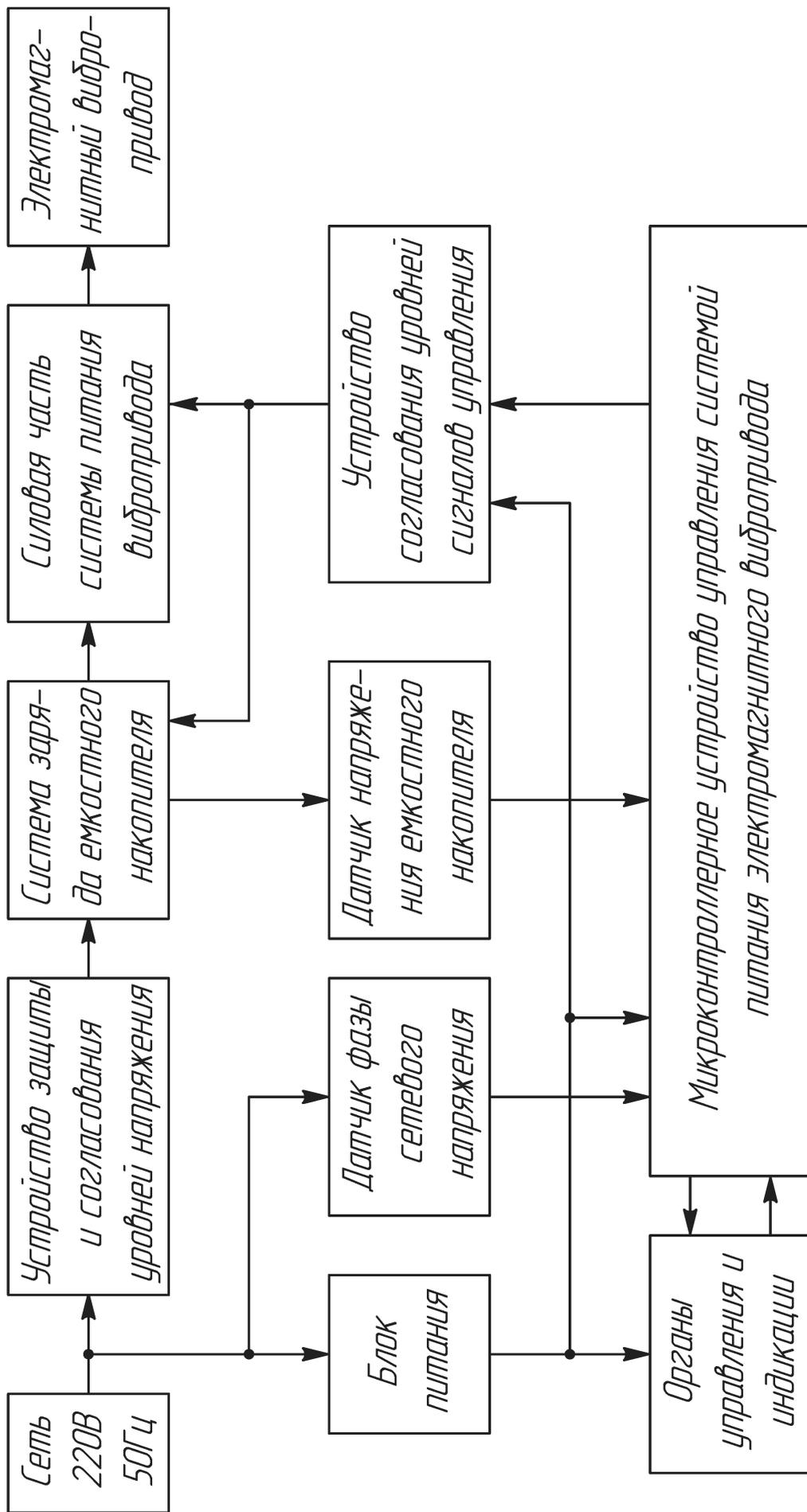


рис.4.5. - Функциональная схема системы питания электромагнитного вибропривода

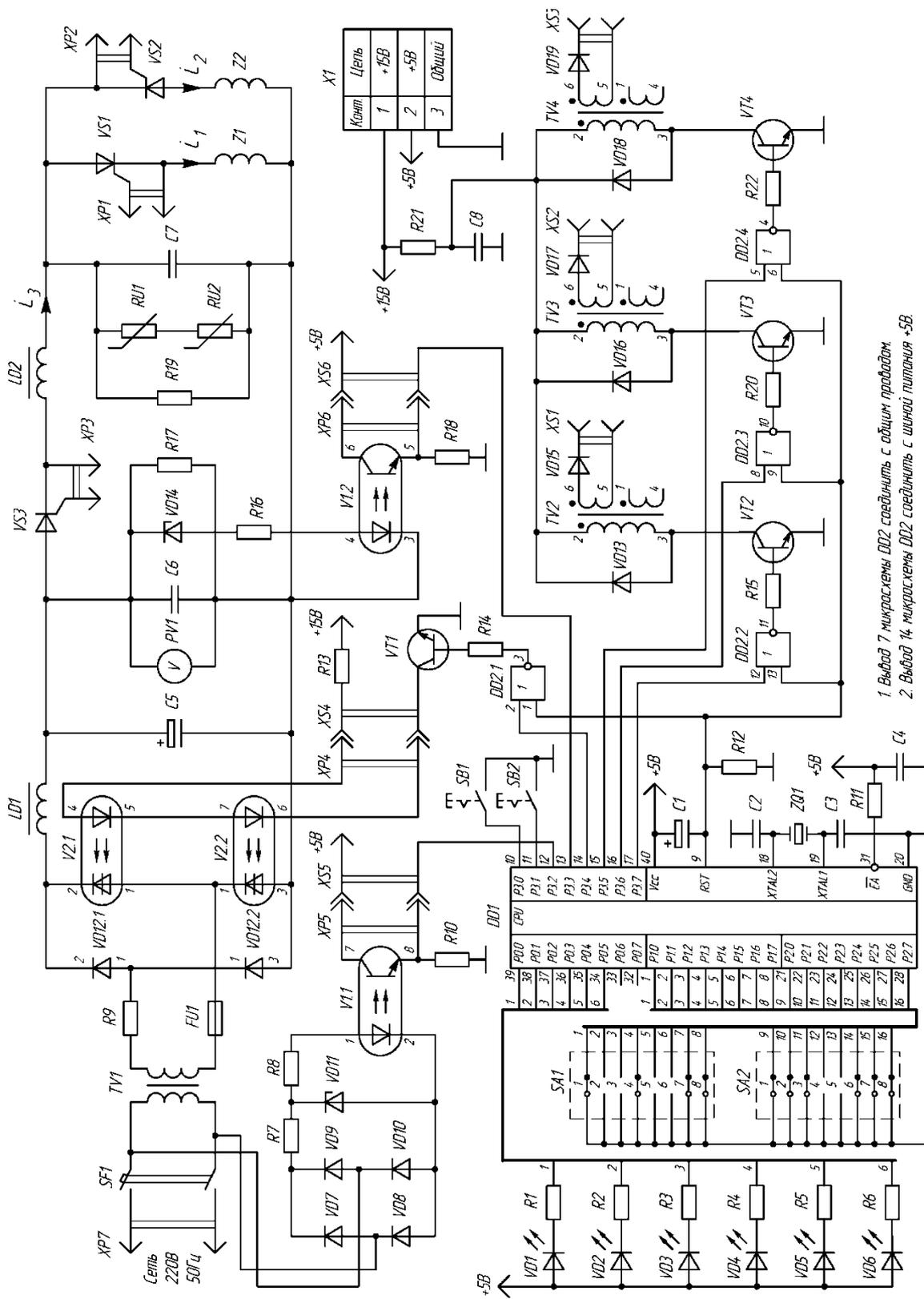


Рис.4.4. - Принципиальная электрическая схема системы питания электромагнитного вибропривода

Для корректного запуска МК необходима подача на вывод 9 (RESET) единичного уровня в течение нескольких десятков периодов тактового генератора. Для этого используется цепь сброса, состоящая из конденсатора C1 и резистора R12.

Величина максимального втекающего тока для линий порта P0 составляет 26 мА, а для линий портов P1, P2 и P3 – 15мА. Каждая линия портов P1 – P3 имеет внутренний подтягивающий резистор, а порта P0 – динамическую нагрузку (источник тока), что позволяет переводить линии данного порта в высокоимпедансное состояние. Таким образом, порт P0 подходит для управления светодиодами VD1 – VD6 без дополнительного буфера, но с токоограничивающими резисторами R1 – R6. Светоизлучающие диоды соединены анодами с шиной питания +5В и производят индикацию при записи в соответствующую линию порта P0 логического нуля.

Порты P1 и P2 задействованы под опрос модулей переключателей SA1 и SA2 соответственно, для чего в выходные триггеры линий необходима запись единиц. Вторичная сторона переключателей связана с общим проводом и при опросе линии портов P1 и P2 с замкнутыми контактами будут возвращать уровень логического нуля.

Порт P3 служит для отслеживания сигналов с ДФНС, ДНЕН, опроса органов управления SB1, SB2, а также подачи сигналов управления на тиристоры VS1 – VS3 и оптотиристоры выпрямителя.

Согласование уровней сигналов управления тиристорами VS1 – VS3 обеспечивают транзисторные усилители, построенные на транзисторах VT1 – VT4. Ввиду наличия индуктивности рассеяния трансформаторов TV2 – TV4 в цепи коллектора каждого из транзисторов, необходимо подключение параллельно каждому из трансформаторов шунтирующих диодов VD13, VD16, VD18. Для ограничения тока первичных обмоток трансформаторов и обеспечения нормальной работы необходимы резистор R21 и электролитический конденсатор C8. При закрытии транзистора диоды будут

шунтировать нагрузку не допуская превышения напряжения на коллекторе. Для дополнительной защиты тиристоров на вторичной стороне трансформаторов TV2 – TV4 предусмотрены диоды VD15, VD17 и VD19.

При сбросе МК на линиях портов ввода/вывода в начальный момент присутствует нулевой уровень логического сигнала, длительностью 1,5мкс, а в течение остального времени сброса линии переходят в состояние логической единицы (линий порта P0 – высокооимпедансное состояние). Для обеспечения запертого состояния транзисторов VT1 – VT4 во время сброса МК, использовали 4 логических элемента 2ИЛИ-НЕ (микросхема DD2). Один из входов каждого элемента данной микросхемы соединен с соответствующей линией управления МК, а другой – с линией сброса RESET. Инверсные выходы микросхемы подключили через токоограничительные резисторы R14, R15, R20 и R22 к базам транзисторов VT1 – VT4 соответственно. Во время сброса на один из входов каждого из элементов микросхемы DD2 с линии RESET будет поступать сигнал единичного уровня, при котором на выходах (базах транзисторов) будет присутствовать логический ноль. После сброса на выводе RESET сигнал примет нулевое значение, а на линиях P3.4 – P3.7 МК установятся логические единицы. Таким образом будет обеспечиваться запертое состояние транзисторов, а подача импульса управления будет осуществляться нулевым сигналом на соответствующей линии МК, обеспечивающим высокий потенциал базы транзистора.

ДФНС представляет собой детектор сигнала напряжения сети и служит для отслеживания моментов пересечения синусоиды сетевого напряжения с нулем [3]. Для этого необходимо двухполупериодное выпрямление, обеспечиваемое однофазной мостовой выпрямительной схемой, построенной на диодах VD7 – VD10. Выпрямленное напряжение поступает на параметрический стабилизатор [4], построенный на стабилитроне VD11, и возбуждает светодиод оптопары V1. Стабилитрон установили инверсно и

параллельно светодиодему оптрона, а для ограничения тока стабилизации использовали резистор R7. Стабилитрон VD11 необходим для ограничения напряжения оптопары на безопасном уровне, защиты от случайных бросков обратного тока и пробоя оптопары в обратном направлении. Для обеспечения нормального режима работы оптопары использовали последовательный токоограничивающий резистор R8. Сигнал ДФНС снимается с резистора R10, включенного в эмиттерную цепь транзистора оптопары V1.1 и поступает на вывод 12 (P3.2) МК. Коллектор данного транзистора подключили к шине питания +5В. Линия P3.2 МК выполняет альтернативную функцию входа прерывания INT0. Источником прерывания выбран перепад сигнала с уровня логической единицы в ноль (срез). Таким образом, приход сигнала с ДФНС будет определять прерывание МК и начало отсчета им угла управления.

ДНЕН стабилитрон VD14 с последовательным токоограничительным резистором R16, подключенные к конденсатору C6. В цепь стабилитрона, встречно последовательно, включен светодиод оптопары V1.2. Сигнал датчика снимается с резистора R18, включенного в эмиттерную цепь транзистора оптопары V1.2 и поступает на вывод 13 (P3.3) МК. При достижении напряжения на конденсаторе C6 уровня стабилизации, происходит пробой VD14 и на вход 13 (P3.3) МК поступает уровень логической единицы. Линия P3.3 МК служит как детектором уровня сигнала с датчика напряжения, так и входом прерывания INT1 по срезу сигнала.

4.5. Выбор элементов схемы системы управления.

В качестве кварцевого резонатора ZQ1 выбрали наиболее распространенный кварц на 12МГц типа НС-49. В качестве конденсаторов C2 и C3 выбрали тип К10-17А-М47-30пФ±5% [8].

В качестве индикаторов VD1 – VD6 выбрали светодиоды типа АЛ307 [5]. Из них VD1 – VD3 зеленого цвета марки АЛ307ВМ, VD4 желтого цвета марки АЛ307ДМ, VD5 и VD6 красного цвета марки АЛ307БМ. В качестве токоограничительных резисторов R1 – R6 в цепях светодиодов выбрали тип С2-33Н-0,125-1кОм±5% [15].

В качестве переключателей SB1 и SB2 выбрали марку В4003. Кнопочные переключатели В4003 предназначены для работы в цепях со следующими параметрами: сила тока 0,5 А и напряжение до 50 В. В качестве модулей переключателей для регулирования угла управления SA1 и частоты работы СПВ SA2 выбрали DIP-переключатели ВДМ1-8 на 8 контактных позиций каждый.

Для избежания плавающего потенциала на выводе 31 МК, в качестве резистора R11 выбрали тип С2-33Н-0,125-20кОм±2% [15]. Конденсатор С4 выбрали на номинальную емкость 0,22мкФ марки К10-17Б-0,22мкФ±20% [8].

Параметры элементов цепи сброса определили опытным путем, с учетом рекомендуемых диапазонов [19], а также подключения к линии сброса входов микросхемы DD2. В качестве конденсатора С1 выбрали тип К10-59-16В-10мкФ±20% [8]. Резистор R12 выбрали на номинальное сопротивление 1,5 кОм типа С2-33Н-0,125-1,5кОм±5% [15].

В качестве n-p-n транзисторов VT1 – VT4 выбрали тип КТ3102БМ [20]. Данный тип имеет следующие основные параметры:

- постоянный ток коллектора $I_{K\max}$, мА: 200;
- максимальное постоянное напряжение коллектор-эмиттер $U_{KЭ\max}$, В: 50;
- максимальная мощность рассеивания $P_{K\max}$, мВт: 250;
- обратный ток коллектора $I_{КБО}$, мкА: 0,05;
- граничная частота коэффициента передачи тока $f_{ГП}$, МГц: 0,2.

- статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером,
 $h_{21Э}$: от 200 до 500.

В качестве логической микросхемы DD2 выбрали тип К561ЛЕ5. Условное графическое обозначение с нумерацией выводов представлено на рис.4.5, а таблица истинности – на рис.4.6.

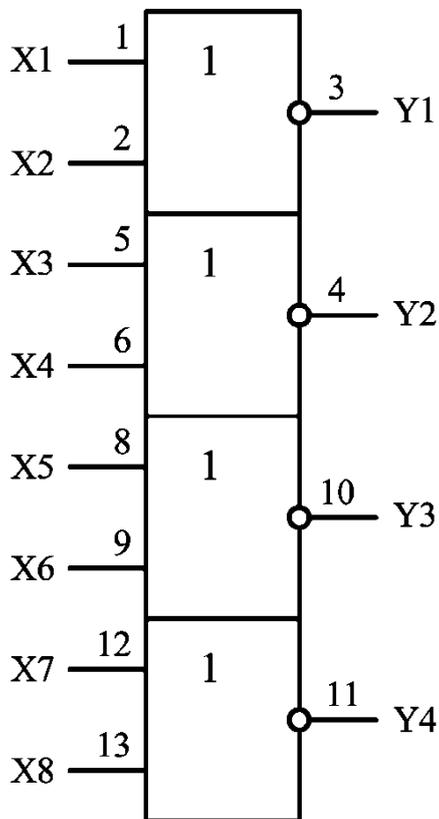


Рис.4.5. - Условное графическое обозначение микросхемы К561ЛЕ5

Вход								Выход			
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Y1	Y2	Y3	Y4
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

Рис.4.6. - Таблица истинности интегральной микросхемы К561ЛЕ5

Питание микросхемы осуществляется по выводам 7 (общий) и 14 (напряжение питания от $-0,5$ до $+18В$). В качестве резисторов R14, R15, R20 и R22 выбрали тип С2-33Н-0,125-3,3кОм \pm 5% [15].

В качестве трансформаторов VT2 – VT4 использовали малогабаритные импульсные трансформаторы МИТ- 4В (П-506). В качестве диодов VD13, VD16 и VD18, шунтирующих первичные обмотки трансформаторов, использовали тип КД522Б [13] на максимальное обратное напряжение 50 В и максимальный прямой ток 100 мА. Аналогичный тип выбрали для диодов VD15, VD17 и VD19.

Для выбора диодов VD7 – VD10 выпрямительного моста ДФНС определили максимальное обратное напряжение по формуле:

$$U_{об} = \sqrt{2} \cdot U_C = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,1 \text{ В}, \quad (4.1)$$

где U_C – напряжение сети, В; приняли равным 220В.

Диоды выпрямительного моста VD7 – VD10 выбрали на максимальное обратное напряжение 350 В и ток 0,3 А марки Д7Д [13].

В качестве транзисторной оптопары V1 выбрали тип АОТ101ИС [5] с числом каналов, равным 2. Ориентировочную величину сопротивления резистора R8 в цепи светодиода оптопары определили из условия:

$$R_8 \geq \frac{U_{cm} - U_{V1ex}}{I_{V1max}} = \frac{15 - 1,6}{0,005} = 2680 \text{ Ом}, \quad (4.2)$$

где U_{cm} – напряжение стабилизации, В; приняли равным 15В;

U_{V1ex} – входное напряжение оптопары, В; приняли равным 1,6В;

I_{V1max} – максимальный входной ток оптопары, А; 0,005 А.

Сопротивление резистора R8 приняли равным 3,3кОм. Мощность резистора рассчитали по формуле:

$$P = U_{cm} \cdot I_{V1max} = 15 \cdot 0,005 = 0,075 \text{ Вт}. \quad (4.3)$$

В качестве резистора R8 выбрали тип С2-33Н-0,125-3,3кОм \pm 5% [15].

В качестве стабилитрона VD11 выбрали тип КС515А1 на номинальное напряжение стабилизации U_{cm} , равное 15 В. Максимальный ток стабилизации I_{cm} для данного прибора составляет 53 мА, а максимальная мощность рассеивания составляет 1000 мВт [13].

Величину сопротивления балластного резистора R7 определили из соотношения:

$$R_7 > \frac{U_{об}}{I_{V1max}} = \frac{311,1}{0,005} = 62220 \text{ Ом.} \quad (4.4)$$

Сопротивление резистора R8 приняли равным 75 кОм.

Мощности рассеяния элементов VD11 и R8 рассчитали по формулам:

$$P_{cm} = U_{cm} \cdot \frac{U_{об}}{R_7} = 15 \cdot \frac{311,1}{75000} = 0,062 \text{ Вт;} \quad (4.5)$$

$$P_{R7max} = \frac{(U_{об} - U_{cm})^2}{R_7} = \frac{(311,1 - 15)^2}{75000} = 1,169 \text{ Вт.} \quad (4.6)$$

По рассчитанным значениям сопротивления и мощности, в качестве резистора R7 выбрали тип С2-33Н-2-75кОм±5% [15] на номинальную мощность 2 Вт.

При длительности сигнала управления оптодиодами V2, равной 600мкс, а величина тока светодиодов составляет 200мА. Для формирования сигнала использовали напряжение питания +15В. С учетом указанного падения напряжения, в качестве резистора R13 выбрали тип С2-33Н-1-75Ом±2% [15].

В качестве стабилитрона VD14 ДНЕН выбрали тип КС531В2 на номинальное напряжение стабилизации, равное 31 В. Максимальный ток стабилизации для данного прибора равен 15 мА, а максимальная мощность рассеивания составляет 500 мВт. При условии использования в качестве оптопары V1.2 второго канала оптрона АОТ101ИС [5], определили величину резистора R16 из выражения:

$$R_{16} > \frac{U_{C6} - (U_{cm} + U_{V1})}{I_{V1max}} = \frac{180 - (31 + 1,6)}{0,005} = 29480 \text{ Ом.} \quad (4.7)$$

Сопrotивление резистора R17 приняли равным 33 кОм.

Максимальные мощности, рассеиваемые в стабилитроне VD14 и резисторе R16, рассчитали по формулам:

$$P_{cm} = U_{cm} \cdot \frac{U_{C6} - (U_{cm} + U_{V1})}{R_{16}} = 31 \cdot \frac{180 - (31 + 1,6)}{33000} = 0,138 \text{ Вт}; \quad (4.8)$$

$$P_{R16max} = \frac{(U_{C6} - (U_{cm} + U_{V1}))^2}{R_{16}} = \frac{(180 - (31 + 1,6))^2}{33000} = 0,658 \text{ Вт}. \quad (4.9)$$

По рассчитанным значениям сопротивления и мощности, в качестве резистора R16 выбрали тип С2-33Н-1-33кОм±5% [15] на номинальную мощность 1 Вт.

Исходя из величины выходного тока утечки оптопары V1, равной 10мкА [5], приняли величину сопротивления резисторов R10 и R18, равной 46,6 кОм, и выбрали в качестве данных резисторов тип С2-33Н-0,125-46,6кОм±5% [15].

Номиналы токоограничительного резистора R21 и конденсатора С8 определили опытным путем при испытаниях опытного образца. В качестве резистора использовали тип С2-33Н-1-100Ом±5% [15]. В качестве конденсатора С8 выбрали тип К10-17Б-0,47мкФ±20% [8].

В качестве разъема X1 для подключения системы управления к блоку питания выбрали тип ВNC-7080 (3 гнезда).

4.6. Разработка блока питания системы управления.

Требуемые для системы управления уровни напряжения питания формирует блок питания, электрическая принципиальная схема которого изображена на рис.4.7. В данной схеме первичную сторону трансформатора TV1 подключили к промышленной сети переменного напряжения 220В. Действующее напряжение на каждой из вторичных полуобмоток относительно средней точки составляет 15В, а амплитудное – 21В. Оно подается на мостовой выпрямитель, выполненный на диодах VD1 – VD4.

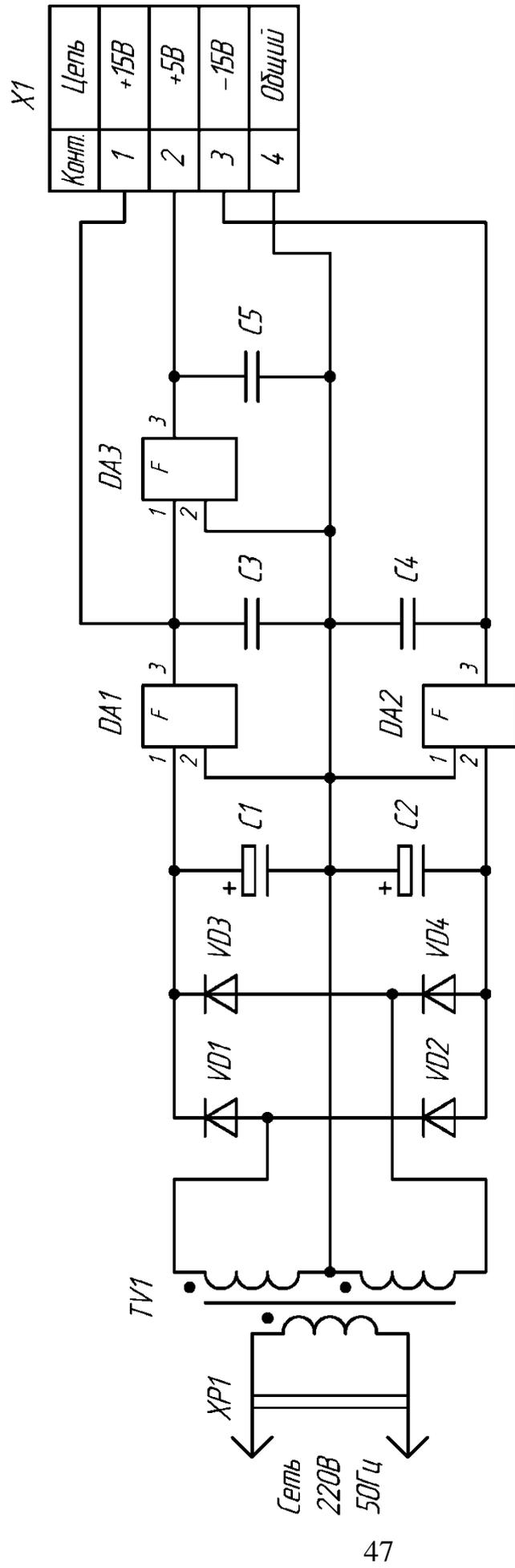


Рис.4.7. - Принципиальная электрическая схема блока питания

Для стабилизации выпрямленного напряжения используются микросхемы DA1 (стабилизатор на +15В), DA2 (стабилизатор на –15В) и DA3 (стабилизатор на +5В). Для фильтрации напряжения питания использовали конденсаторы C1 – C5.

В качестве трансформатора VT1 выбрали малогабаритный трансформатор броневого типа для полупроводниковых схем с номинальным напряжением 220В и частотой 50Гц марки ТПП253-127/220-50 на номинальную мощность 22В·А [16]. Для подключения к промышленной сети переменного тока использовали выводы 1 и 2 (первичная обмотка). Выпрямительный мост VD1 – VD4 блока питания подключили к выводам 14 и 15 вторичных полуобмоток. Для обеспечения напряжения 15В в верхнем плече вторичной обмотки соединили выводы 11 и 16, а вывод 12 соединили с средней точкой. В нижнем плече вторичной обмотки соединили выводы 13 и 17, а вывод 18 соединили с средней точкой. Максимальный ток вторичной обмотки трансформатора составляет 0,145А. С учетом максимально возможного обратного напряжения на диодах VD1 – VD4, выбрали выпрямительные диоды малой мощности марки 2Д106А [13]. В качестве микросхем DA1, DA2 и DA3 выбрали тип КР142ЕН8Е, 7915СТ и КР142ЕН5А соответственно [6]. В качестве электролитических конденсаторов C1 и C2 выбрали марки К10-59-25В-2200мкФ±10% и К10-59-25В-1000мкФ±10% [8] соответственно, а конденсаторы C3 – C5 выбрали на номинальную емкость 0,22мкФ типа К10-17Б-0,22мкФ±20% [8].

4.7. Разработка блок-схемы программы для микроконтроллера.

Для адекватного представления и анализа управляющей программы, выполняемой МК, а также подготовки решения задачи управления, необходима разработка ее блок-схемы [10]. Блок-схема программы для МК строится на основе алгоритма работы устройства (см. п. 4.1) и предполагает

детальезированное представление. Каждый из отдельных блоков разработанной блок-схемы алгоритма работы системы управления (см. рис.4.1) в данном случае заменяется набором блоков (инструкций МК). Описание действий в указанных блоках учитывает символическое обозначение выполняемой в блоке операции. Указанные обозначения операций являются общепринятым синтаксисом языка программирования, а также определяются терминологией технической документации на данный тип МК [19].

Для составления блок-схемы программы необходимо ведение обозначений (символических имен), заменяющих адресное представление используемых операндов. В качестве символических имен констант использовали аббревиату, расшифровка которой представлена в табл.4.2.

Таблица 4.2 - Описание символических обозначений используемых констант

Обозначение	Описание
DRET	Количество циклов подавления дребезга контактов
MULT1	Масштабный коэффициент угла управления выпрямителя
MULT2	Масштабный коэффициент частоты работы СПВ
POPTL	Выдержка сигнала управления оптотиристорами СЗЕН (2 байта)
POPTH	
T23L	Временной интервал между подачей импульсов управления на тиристоры VS2 и VS3 СЧСП (2 байта)
T23H	
T31L	Временной интервал между подачей импульсов управления на тиристоры VS3 и VS1 СЧСП (2 байта)
T31H	
IMPН	Начальное значение счета импульсов предварительного заряда ЕН
ИРМ	Критическое значения счета импульсов предварительного заряда ЕН

В качестве символических имен адресов использовали аббревиату, расшифровка которой представлена в табл.4.3.

Таблица 4.3 - Описание символических обозначений используемых адресов

Обозначение	Адресное пространство	Назначение
ST	Ячейка ПАОЗУ	Хранение текущего состояния органов управления
ST0	Бит 0 ячейки ST	Хранение текущего состояния органа управления СЗЕН
ST1	Бит 1 ячейки ST	Хранение текущего состояния органа управления СЧСП
STD	Ячейка ОЗУ	Хранение состояния органов управления при дребезге
STMEM	Ячейка ОЗУ	Хранение предыдущего состояния органов управления
SA1L	Ячейка ОЗУ	Хранение младшего и старшего байтов промежуточного вычисления и скорректированного результата опроса модуля SA1
SA1H	Ячейка ОЗУ	
SA2L	Ячейка ОЗУ	Хранение младшего и старшего байтов промежуточного вычисления и скорректированного результата опроса модуля SA2
SA2H	Ячейка ОЗУ	
RCS	Ячейка ПАОЗУ	Хранение битов регистрации состояния системы
MDE	Бит 0 ячейки RCS	Регистрация аварийной ситуации или ошибки работы СЗЕН
MVOL	Бит 1 ячейки RCS	Регистрация предварительного заряда ЕН
MACT	Бит 2 ячейки RCS	Регистрация работы СПВ
MREQF	Бит 3 ячейки RCS	Регистрация требования окончания цикла работы СПВ
MT2	Бит 4 ячейки RCS	Регистрация отсчета второго интервала
MT3	Бит 5 ячейки RCS	Регистрация отсчета третьего интервала
VS1	Бит 4 регистра P3	Управление подачей сигнала на тиристор VS1 СЧСП
VS2	Бит 5 регистра P3	Управление подачей сигнала на тиристор VS2 СЧСП
VS3	Бит 6 регистра P3	Управление подачей сигнала на тиристор VS3 СЧСП
VSOPT	Бит 7 регистра P3	Управление подачей сигнала на оптотиристоры V1,V2 СЗЕН
ICPU	Бит 0 регистра P0	Управление индикацией готовности МК
ISYSC	Бит 1 регистра P0	Управление индикацией работы СЗЕН
ISYSP	Бит 2 регистра P0	Управление индикацией работы СЧСП
IVOL	Бит 3 регистра P0	Управление индикацией предварительного заряда ЕН
IERR	Бит 4 регистра P0	Управление индикацией ошибки работы СЗЕН
IDAM	Бит 5 регистра P0	Управление индикацией аварийного режима

Блок-схема управляющей программы для МК делится на основную часть и отдельные фрагменты (подпрограммы), имеющие оконченное

смысловое содержание. Блок-схема основной части программы изображена на рис.4.8. Блок-схемы подпрограмм обслуживания прерываний представлены на рис.4.9. Блок-схема подпрограммы MULT, используемой в основной части управляющей программы, представлена на рис.4.10.

Подпрограммы временных задержек DELAY1, DELAY2 и DELAY3 организовали с помощью «холостой» команды NOP. Данная команда обеспечивает задержку длительностью 1 цикл (при тактовой частоте 12МГц длительность цикла составляет 1мкс). Таким образом, количество команд NOP в теле каждой из подпрограмм определяет задержку при вызове подпрограммы с учетом выполнения операции вызова (2 цикла) и возврата (2 цикла). В иллюстрации блок-схем данных подпрограмм нет необходимости, кроме того, подпрограммы задержек подлежат изменению при отладке программы и точное количество команд NOP на данном этапе не определено.

Подпрограмма MULT совершает умножение восьмибитного двоичного слова, загруженного в дополнительный аккумулятор В, на содержимое регистра R2, коррекцию байтов результата для загрузки таймеров и пересылку шестнадцатибитного результата по двум ячейкам ОЗУ, адреса которых указаны в регистрах косвенной адресации R0, R1. Подпрограмма MULT служит для обработки результатов опроса модулей SA1 и SA2.

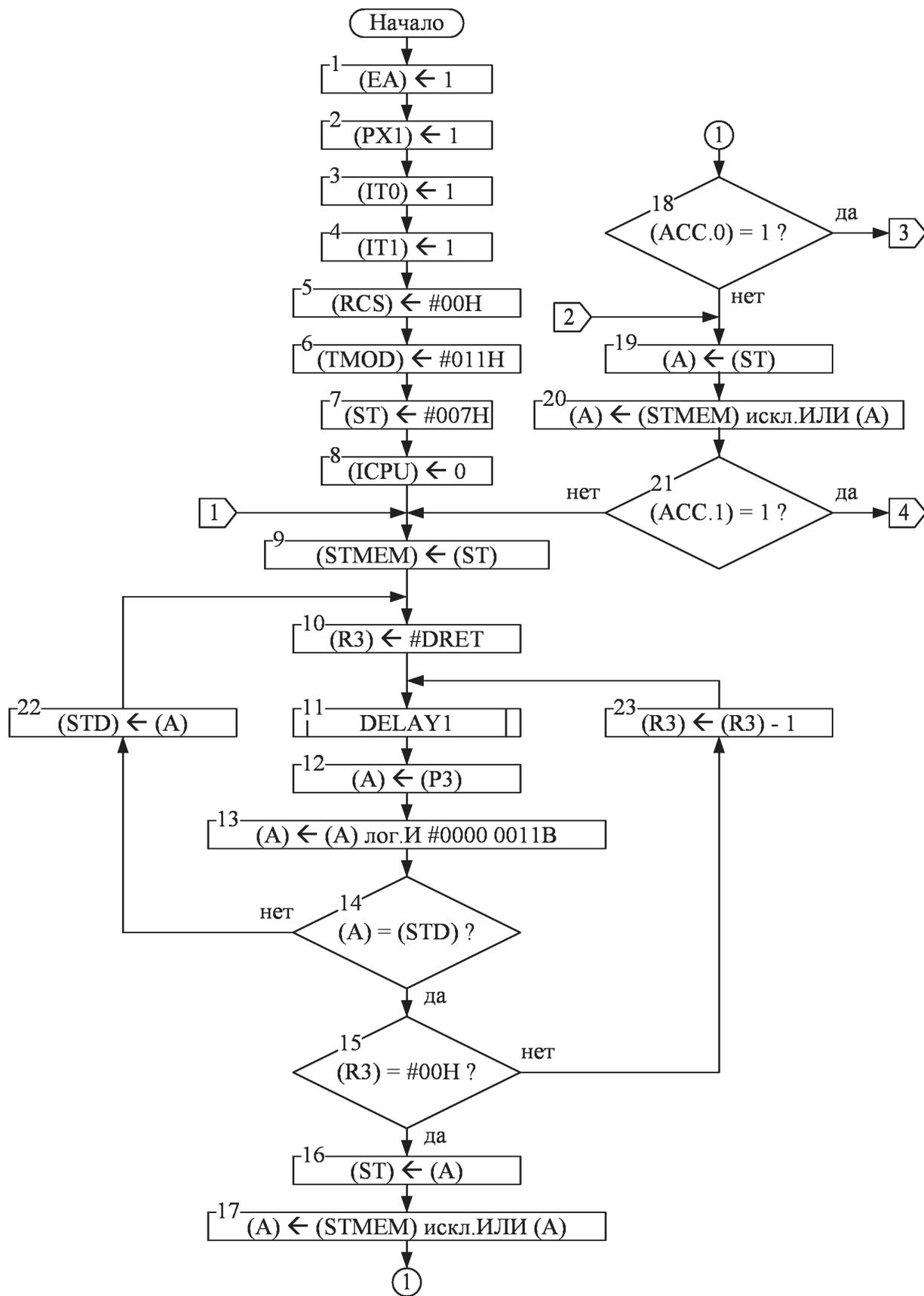


Рис. 4.8а - Блок-схема основной части программы

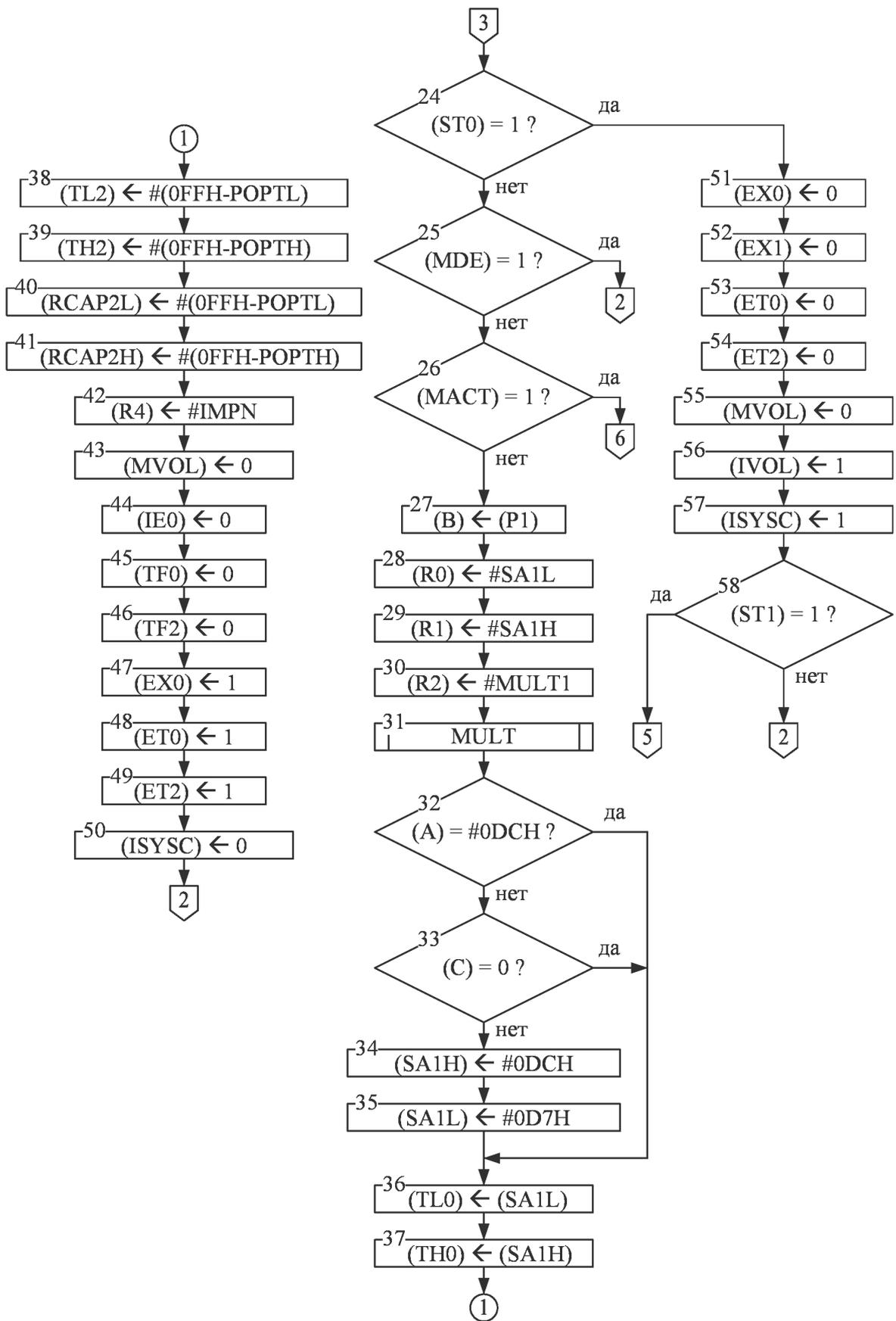
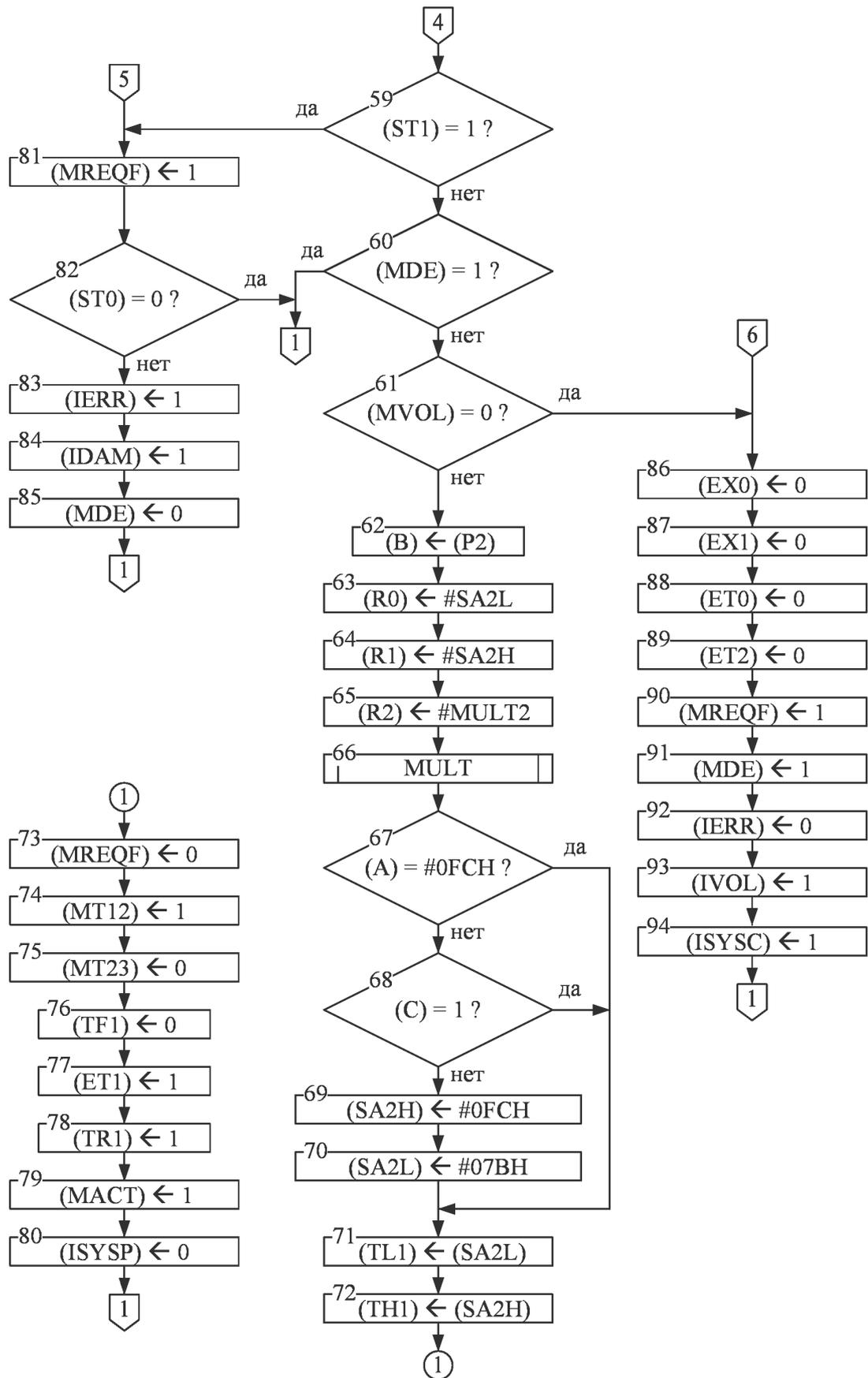
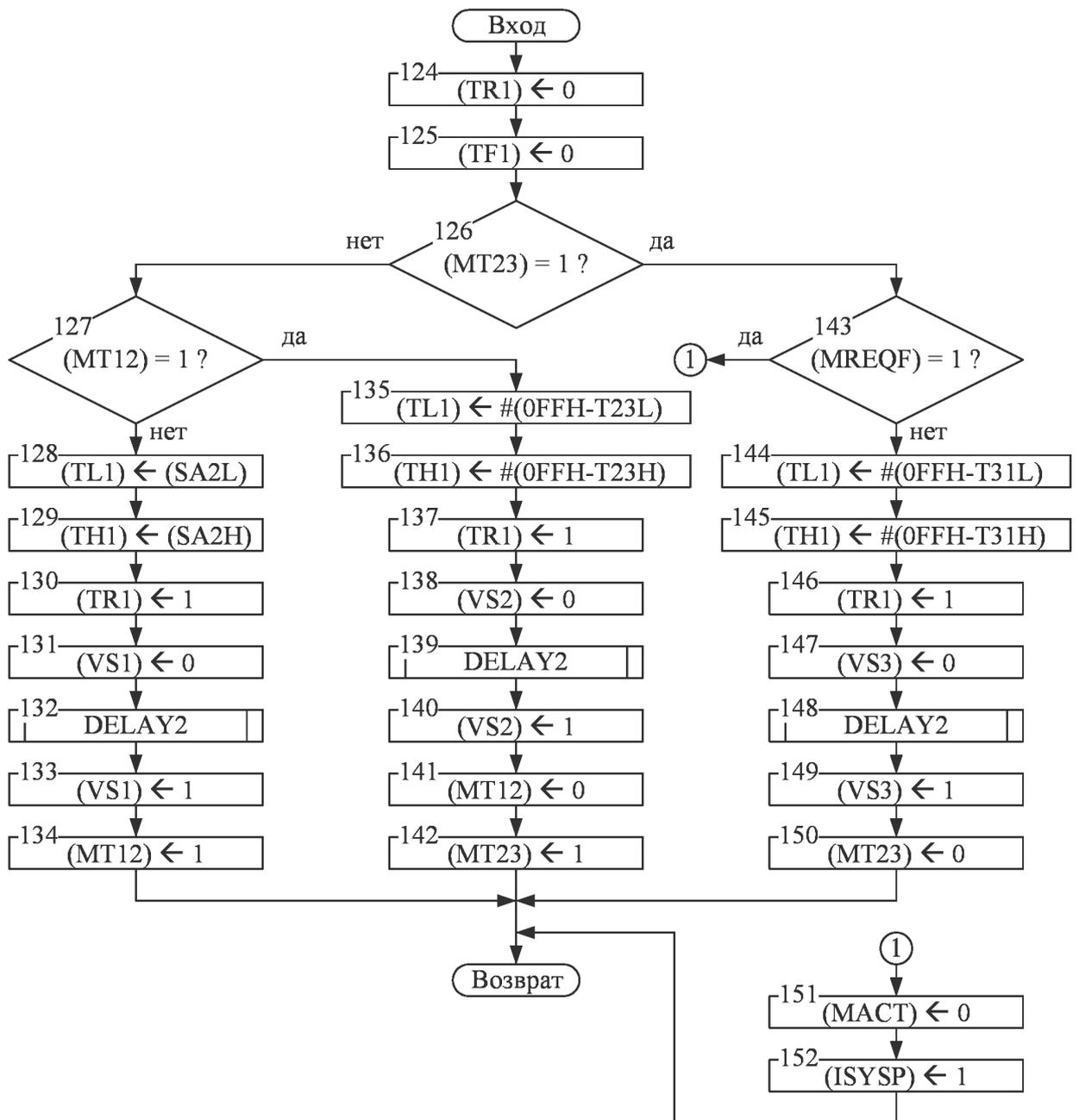
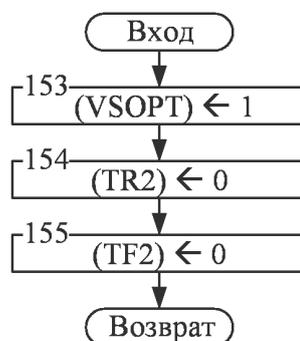


Рис. 4.8б - Блок-схема основной части программы



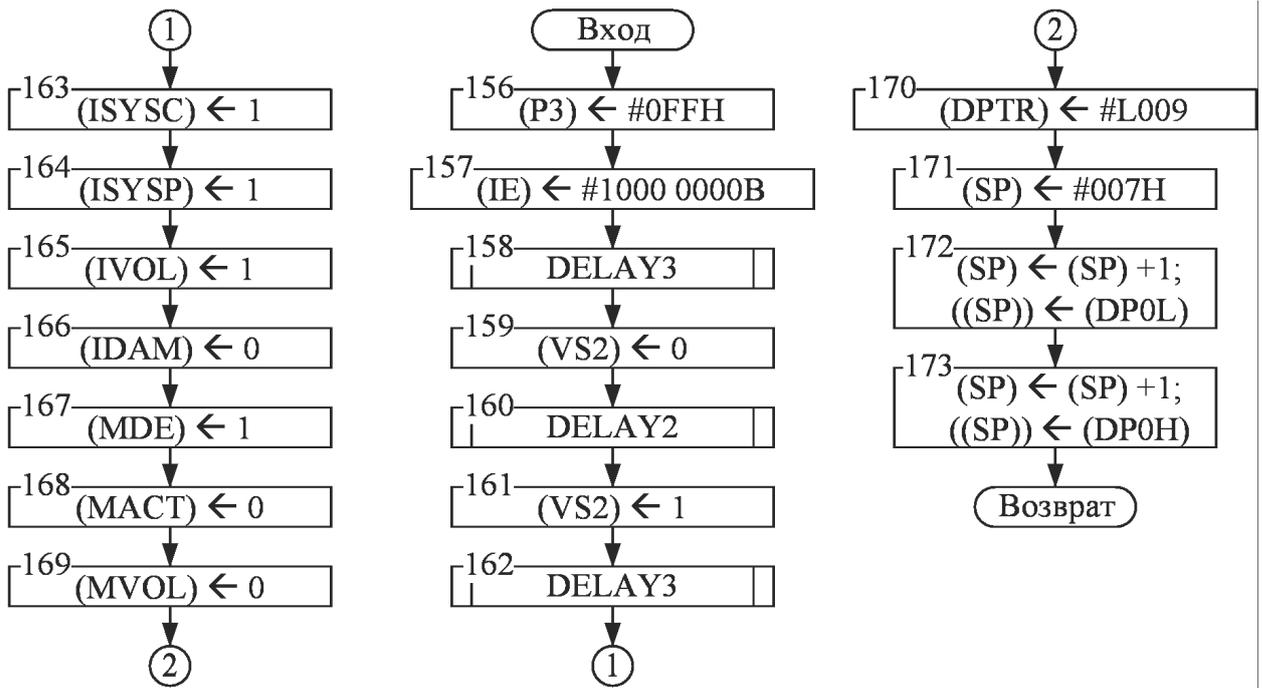


в) прерывание от таймера T1;



г) прерывание от таймера T2;

Рис.4.9. - Блок-схемы подпрограмм обслуживания прерываний



д) внешнее прерывание INT1

Рис.4.9. - Блок-схемы подпрограмм обслуживания прерываний

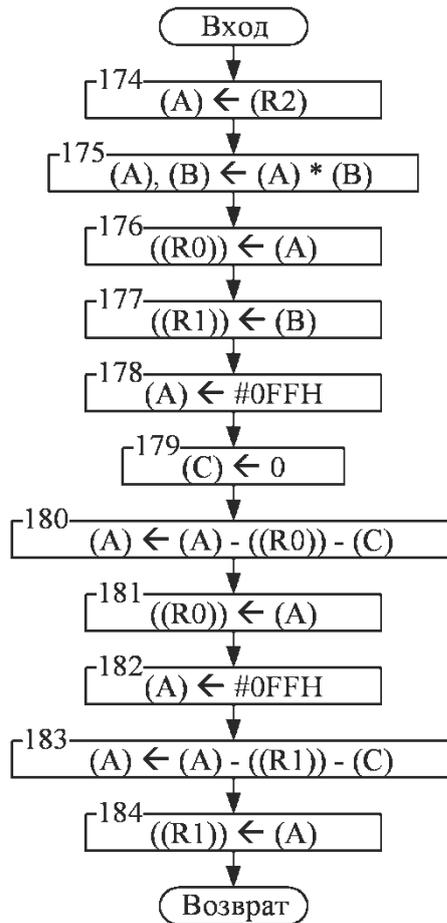


Рис.4.10. - Блок-схема подпрограммы MULT.

4.8. Составление программы

В основной программе и подпрограммах обработки прерываний вместо непосредственных адресов регистров и линий портов МК использовали символические имена. Для объявления символических имен перед текстом программы поместили директиву обращения к файлу «Snames.inc», в котором содержится перечень аргументов для замены переменных в макрорасширении. Текст файла «Snames.inc», снабженный комментарием, представили в приложении 1.

Управляющую программу составили в соответствии с разработанными детализированными блок-схемами (см. рис.4.8 – 4.10). Файл управляющей программы «Project.asm» содержит обращение к файлу «Snames.inc», присвоение символических имен адресам (см. табл. 4.2) и константам (см. табл.4.3), исходный текст основной программы, подпрограмм обслуживания прерываний, обработки результатов опроса модулей переключателей и временных задержек. Текст файла «Project.asm», снабженный комментарием, представили в приложении 2.

4.9. Отладка программы и средства программирования

При изначальном составлении управляющей программы были допущены следующие основные ошибки.

При объявлении некоторых символических имен и констант в файле управляющей программы наименования идентификаторов совпадали с существующими обозначениями, обращение к которым содержалось в файле «Snames.inc». В конце текста управляющей программы после директивы «.END» отсутствовал символ «EOF» (End Of File). Данные ошибки являются синтаксическими (ошибки трансляции) и не определяют недостатки алгоритма программы.

При организации условного перехода в блоке 26 (см. рис. 4.8) на метку «L086» блока 86 был превышен диапазон относительного перехода. Для устранения данного недочета в пределах указанного диапазона поместили вспомогательную метку «H086» с безусловным длинным абсолютным переходом на метку «L086». В команде условного перехода блока 26 заменили метку «L086» на введенную метку «H086». Аналогичным образом ввели вспомогательную метку «H009» для перехода на «L009» из блоков 60 и 81.

При организации подачи сигналов управления не было учтено увеличение временного интервала, отсчитываемого таймером T1, так как в теле подпрограммы обслуживания прерывания от данного таймера сначала осуществлялась подача импульса на соответствующий тиристор, а уже после этого производились установка и пуск отсчета следующего интервала. Таким образом, каждый временной интервал увеличивался на длительность подачи импульса управления, составляющей 10 мкс. В результате исправления указанной ошибки блоки установки и пуска таймера на отсчет очередного интервала расположили перед блоками подачи соответствующего импульса управления.

Для трансляции программы использовали DOS-ассемблер TASM, как наиболее надежное и доступное программное обеспечение. TASM является набором таблично управляемых кросс ассемблеров для MS-DOS, поддерживающий различные версии 8-битных микроконтроллеров, в том числе и семейство 8051, к которому относится выбранный МК. Программа ассемблера содержит: запускной файл «TASM.EXE», файл с таблицами «TASM51.TAB» и командный файл «TASM51H.BAT». Также в качестве руководства оператору TASM может быть использован файл с документацией «TASM_RUS.DOC».

Так как TASM не имеет встроенных таблиц по системам команд, то для трансляции файла «project.asm» необходимо считывание таблиц из файла

«tasm51.tab», для чего в командной строке необходимо набрать обращение «tasm -51 project.asm». При этом исходный файл должен быть определен, а по окончании трансляции созданы объектный файл «project.obj» и файл листинга «project.lst». Указанные файлы формируются из имени исходного файла, изменением расширения на «.obj» и «.lst» соответственно. Объектный файл по умолчанию имеет hex-формат (Intel Hex-Format) и используется при программировании МК.

Для записи полученного кода в ПЗУ МК использовали внутрисхемное программирование AT89S ISP (In System Programming) Software. В качестве указанного программного обеспечения использовали версию 3.0 (запускной файл «AEC_ISP.EXE»), поддерживающую МК AT89S51, AT89S52, AT89S53 и AT89S8252. Перед программированием кристалла, в разделе «SETUP» меню программы, необходимо указать тип устройства (AT89S53), а также выбрать желаемые действия программы: установку битов защиты от считывания кода программы, предварительное стирание памяти программ перед программированием, проверку записи программы (чтение ПЗУ) после процедуры программирования и т.п. С помощью пункта «Load HEX file» меню программы, необходимо выбрать объектный файл, указав его имя в командной строке (например, «project.obj»). Код указанного файла помещается в буфер для программирования Flash памяти программ (Flash buffer) и выводится на дисплей. Отдельно просмотреть содержимое данного буфера можно с помощью пункта меню «Display Flash buffer». Также есть возможность управлять сигналом сброса, посредством пункта «RESET», устанавливая высокий (High), либо низкий (Low) уровень данного сигнала. Для процесса программирования достаточно подключения к МК питания, кварцевого резонатора и непосредственного соединения линий SPI-интерфейса МК с линиями параллельного порта LPT1 или LPT2 персонального компьютера (ПК)

Таблица 4.4 - Соединения портов для программирования микроконтроллера

Наименование порта	Номер соединяемой линии				
	1	2	3	4	5
LPT (ПК)	6 (D4)	7 (D5)	8 (D6)	10 (ACK)	18-25 (GND)
SPI (МК)	9 (RESET)	6 (P1.5 – MOSI)	8 (P1.7 – SCK)	7 (P1.6 – MISO)	20 (GND)

Процесс программирования запускается выбором пункта «Program» меню программы. Независимо от начального состояния сигнала «RESET», по окончании процедуры программирования остается высокий уровень.

Для корректной процедуры программирования длина соединительных проводов не должна превышать 1 м. Также желательно в качестве соединительных проводов использовать «витую пару», парные провода которой необходимо соединить с общим проводом (GND) для дополнительного экранирования.

При внутрисхемном программировании МК (в нашем случае – на макетной плате Wish Boarb 504-L) не является обязательным отключение от МК цепей сброса, подачи логической единицы на вход 31 (\overline{EA}) МК, выводов, подключенных на входы внешних микросхем или соединенные с общим проводом. Однако необходимо следить за тем, чтобы на линиях портов ввода/вывода МК не присутствовал высокий потенциал от внешних источников.

Заключение

В результате разработки системы питания электромагнитного вибропривода для химической промышленности пришли к следующим выводам.

В качестве электромагнитного вибропривода наиболее подходящей является конструкция цилиндрического двухтактного электромагнита с плоским якорем. Она имеет на заданное усилие меньшие массогабаритные показатели, по сравнению с остальными конструкциями, а также учитывает возможность вращения рабочего органа, необходимого для технологического процесса.

Силовая схема системы питания электромагнитного вибропривода разработана ранее и представляет собой относительно простое схемотехническое решение. Однако к системе управления предъявляется ряд дополнительных требований, касающихся возможных в схеме недопустимых режимов работы, особенностей поочередности работы силовых вентилях, необходимостью предварительного заряда, а также манипуляций органами управления.

Для решения указанных задач разработали микроконтроллерную систему управления, реализованную на базе МК AT89S53. Был определен состав органов управления и индикации микроконтроллерной системы управления, разработан алгоритм ее работы. При разработке схемотехники системы управления были решены вопросы сопряжения МК с внешними элементами, согласования уровней сигналов управления силовыми приборами СПВ и сигналов с датчиков. Для осуществления питания системы разработали блок стабилизированного напряжения питания.

При помощи алгоритма работы МКСУ для полученного схемотехнического решения были разработаны детализированные блок-схемы и составлена управляющая программа для МК.

Реализация устройства управления на МК позволила добиться существенного сокращения элементного состава системы управления, повышения надежности и точности ее работы. Улучшены основные технические параметры устройства при минимальных затратах рабочего времени и денежных средств.

Список используемой литературы

1. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей. Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Отв. Ред. А.Н. Подгорный; АН УССР Институт машиностроения. – Киев: Наук.думка, 1989. – 208с.
2. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь, 1996.
3. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – М.: Высш. шк. 1991. – 622 с.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.: ил.
5. Иванов В.И. и др. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник / В.И. Иванов, И.А. Аксенов, А.М. Юшин – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 448 с.: ил.
6. Интегральные микросхемы: Справочник / Б.В. Тарабрин, Л.Ф. Лунин, Ю.Н. Смирнов и др.; Под ред. Б. В. Тарабрина. – 2-е изд., испр. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 528 с.: ил.
7. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с., ил.
8. Конденсаторы: Справочник / И. И. Четвертков, М. Н. Дьяконов, В. И. Присняков и др.: Под ред. И. И. Четверткова, М. Н. Дьяконова. – М.: Радио и связь. – 1993. – 392 с.: ил.
9. Кузнечиков С.Ю. Магнитопроводы из композиционных магнитомягких порошковых материалов. // Электротехника 1994г. №8, с.54.
10. Майоров В.Г., Гаврилов А.И. Практический курс программирования микропроцессорных систем. – М.: Машиностроение. 1989. – 272 с.: ил.

11. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.platan.ru](http://www.platan.ru) (дата обращения: 07.05.2018)
12. Намитоков К.К. и др. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств / К.К. Намитоков, Н.А. Ильина, И.Г. Шкловский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
13. Полупроводниковые приборы: Справочник / А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др. Под ред. А.В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1988. – 528 с., ил.
14. Процессы гранулирования в промышленности. Вилесов Н.Г., Скрипко В.Я., Ломазов В.Л., Танченко И.М. – Киев: «Техника», 1976. – 192с.
15. Резисторы: Справочник / В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Пратусевич и др.; Под. ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.
16. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев, А.А. Христинин. – М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.
17. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с англ. Под ред. В.В. Токарева. Первое издание. – Воронеж: «Элист», 1995. – 664 с.
18. Смирницкий Е.К. Экономические показатели промышленности: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Экономика, 1989. – 335 с.
19. Сташин В.В. и др. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах / В.В. Сташин, А.В. Урусов, О.Ф. Мологонцева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 244 с.
20. Транзисторы малой мощности: Справочник / Под ред. А. В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1989.
21. Трансформаторы и преобразователи «Электроагрегат». Каталог. – Санкт Петербург.: Электроагрегат, 2003. – 38 с.
22. Холин Б.Г. Центробежные и вибрационные грануляторы плавов и распылители жидкости. – М.: «Машиностроение», 1977. – 182 с.

23. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник / В.П. Берзан, Б.Ю. Геликман, М.Н. Гураевский и др.: Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.: ил.

24. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chip-dip.ru> (дата обращения: 07.05.2018)

25. Миловзоров О. В. Электроника : учеб. для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. - Изд. 4-е, стер. ; Гриф МО. - М. : Высш. шк., 2008. - 288 с.

26. Ямпурин Н. П. Электроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова, В. И. Обухов. - М. : Академия, 2011.

27. AT89S8252 Primer [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shrubbery.net/~heas/willem/PDF/ATMEL%20Flash%20Microcontroller/8051-Architecture/Application%20Notes/AT89S8252%20Primer.pdf> (дата обращения: 27.05.2018)

28. AT89S8252 Datasheet (PDF) - ATMEL Corporation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/175000/ATMEL/AT89S8252.html> (дата обращения: 27.05.2018)

29. Crystals HC-49/U Features and Applications [Электронный ресурс]. URL: <http://www.farnell.com/datasheets/1661828.pdf> (дата обращения: 27.05.2018)

30. Diodes Incorporated [Электронный ресурс]. URL: <https://www.diodes.com> (дата обращения: 27.05.2018)

31. TVR204 Datasheet, PDF - Datasheet Search Engine [Электронный ресурс]. URL: http://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=TVR204&sField=2 (дата обращения: 27.05.2018)

Приложение А

Текст файла «Snames.inc» объявления символических имен и адресов регистров и линий портов микроконтроллера AT89S53

```
#IFDEF _SNAMES_INC_           ;Защита от попытки повторного определе-
#define _SNAMES_INC_         ;ния символических имен при обращении к
                             ;файлу из нескольких мест программы

;Присвоение символических имен адресам и константам
;для микроконтроллера AT89S53:
R0           .EQU    000H    ;адрес регистра R0 банка 0
R1           .EQU    001H    ;адрес регистра R1 банка 0
R2           .EQU    002H    ;адрес регистра R2 банка 0
R3           .EQU    003H    ;адрес регистра R3 банка 0
R4           .EQU    004H    ;адрес регистра R4 банка 0
R5           .EQU    005H    ;адрес регистра R5 банка 0
R6           .EQU    006H    ;адрес регистра R6 банка 0
R7           .EQU    007H    ;адрес регистра R7 банка 0
P0           .EQU    080H    ;адрес регистра порта P0 (11111111)
                             ;прямые адреса отдельных линий порта P0:
P0.0        .EQU    080H    ;адрес бита 0 регистра P0
P0.1        .EQU    081H    ;адрес бита 1 регистра P0
P0.2        .EQU    082H    ;адрес бита 2 регистра P0
P0.3        .EQU    083H    ;адрес бита 3 регистра P0
P0.4        .EQU    084H    ;адрес бита 4 регистра P0
P0.5        .EQU    085H    ;адрес бита 5 регистра P0
P0.6        .EQU    086H    ;адрес бита 6 регистра P0
P0.7        .EQU    087H    ;адрес бита 7 регистра P0
SP          .EQU    081H    ;адрес регистра указателя стека (00000111)
DP0L        .EQU    082H    ;адрес младшей половины регистра DPTR0 (00000000)
DP0H        .EQU    083H    ;адрес старшей половины регистра DPTR0 (00000000)
TCON        .EQU    088H    ;адрес регистра TCON (00000000)
                             ;прямые адреса отдельных битов TCON:
IT0         .EQU    088H    ;бит управления типом прерывания INT0
IE0         .EQU    089H    ;бит запроса на обслуживание прерывания INT0
IT1         .EQU    08AH    ;бит управления типом прерывания INT1
IE1         .EQU    08BH    ;бит запроса на обслуживание прерывания INT1
TR0         .EQU    08CH    ;бит пуска/останова таймера-счетчика T0
TF0         .EQU    08DH    ;бит запроса на обслуживание прерывания от T0
TR1         .EQU    08EH    ;бит пуска/останова таймера-счетчика T1
TF1         .EQU    08FH    ;бит запроса на обслуживание прерывания от T1
TMOD        .EQU    089H    ;адрес регистра TMOD (00000000)
TL0         .EQU    08AH    ;адрес младшего регистра T0 (00000000)
TL1         .EQU    08BH    ;адрес младшего регистра T1 (00000000)
TH0         .EQU    08CH    ;адрес старшего регистра T0 (00000000)
TH1         .EQU    08DH    ;адрес старшего регистра T1 (00000000)
P1          .EQU    090H    ;адрес порта P1 (11111111)
                             ;прямые адреса отдельных линий порта P1:
```

P1.0	.EQU	090H	;адрес бита 0 регистра P1
P1.1	.EQU	091H	;адрес бита 1 регистра P1
P1.2	.EQU	092H	;адрес бита 2 регистра P1
P1.3	.EQU	093H	;адрес бита 3 регистра P1
P1.4	.EQU	094H	;адрес бита 4 регистра P1
P1.5	.EQU	095H	;адрес бита 5 регистра P1
P1.6	.EQU	096H	;адрес бита 6 регистра P1
P1.7	.EQU	097H	;адрес бита 7 регистра P1
P2	.EQU	0A0H	;адрес порта P2 (11111111) ;прямые адреса отдельных линий порта P2:
P2.0	.EQU	0A0H	;адрес бита 0 регистра P2
P2.1	.EQU	0A1H	;адрес бита 1 регистра P2
P2.2	.EQU	0A2H	;адрес бита 2 регистра P2
P2.3	.EQU	0A3H	;адрес бита 3 регистра P2
P2.4	.EQU	0A4H	;адрес бита 4 регистра P2
P2.5	.EQU	0A5H	;адрес бита 5 регистра P2
P2.6	.EQU	0A6H	;адрес бита 6 регистра P2
P2.7	.EQU	0A7H	;адрес бита 7 регистра P2
IE	.EQU	0A8H	;адрес регистра IE (0X000000) ;прямые адреса отдельных битов регистра IE:
EX0	.EQU	0A8H	;бит разрешения/запрета прерываний от INT0
ET0	.EQU	0A9H	;бит разрешения/запрета прерываний от T0
EX1	.EQU	0AAH	;бит разрешения/запрета прерываний от INT1
ET1	.EQU	0ABH	;бит разрешения/запрета прерываний от T1
ES	.EQU	0ACH	;бит разрешения/запрета прерываний от п/п
ET2	.EQU	0ADH	;бит разрешения/запрета прерываний от T2
EA	.EQU	0AFH	;бит глобальной блокировки прерываний
P3	.EQU	0B0H	;адрес порта P3 (11111111) ;прямые адреса отдельных линий порта P3:
P3.0	.EQU	0B0H	;адрес бита 0 регистра P3
P3.1	.EQU	0B1H	;адрес бита 1 регистра P3
P3.2	.EQU	0B2H	;адрес бита 2 регистра P3
P3.3	.EQU	0B3H	;адрес бита 3 регистра P3
P3.4	.EQU	0B4H	;адрес бита 4 регистра P3
P3.5	.EQU	0B5H	;адрес бита 5 регистра P3
P3.6	.EQU	0B6H	;адрес бита 6 регистра P3
P3.7	.EQU	0B7H	;адрес бита 7 регистра P3
IP	.EQU	0B8H	;адрес регистра IP (XX000000) ;прямые адреса отдельных битов регистра IP:
PX0	.EQU	0B8H	;бит приоритета внешнего прерывания INT0
PT0	.EQU	0B9H	;бит приоритета таймера-счетчика T0
PX1	.EQU	0BAH	;бит приоритета внешнего прерывания INT1
PT1	.EQU	0BBH	;бит приоритета таймера-счетчика T1
PS	.EQU	0BCH	;бит приоритета приемопередатчика
T2CON	.EQU	0C8H	;адрес регистра T2CON 2 (00000000)
CP_RL2	.EQU	0C8H	;адрес бита CP/RL2 выбора считывания или ;перезагрузки таймера T2
	.EQU	0C9H	;адрес бита C/T2 регистра T2CON для выбора ;режима таймера или счетчика T2
TR2	.EQU	0CAH	;адрес бита TR2 пуска/останова T2
TF2	.EQU	0CFH	;адрес бита TF2 запроса на обслуживание

```

;прерывания при переполнении T2
T2MOD      .EQU    0C9H    ;адрес регистра T2MOD (XXXXXX00)
RCAP2L     .EQU    0CAH    ;адрес регистра перезагрузки TL2 (00000000)
RCAP2H     .EQU    0CBH    ;адрес регистра перезагрузки TH2 (00000000)
TL2        .EQU    0CCH    ;адрес младшего регистра T2 (00000000)
TH2        .EQU    0CDH    ;адрес старшего регистра T2 (00000000)
PSW        .EQU    0D0H    ;адрес регистра PSW (00000000)
;прямые адреса отдельных битов регистра PSW:
CY         .EQU    0D7H    ;флаг переноса
AC         .EQU    0D6H    ;дополнительный флаг переноса
F0        .EQU    0D5H    ;флаг пользователя
RS1       .EQU    0D4H    ;флаг переключения банков
RS0       .EQU    0D3H    ;флаг переключения банков
OV        .EQU    0D2H    ;флаг переполнения
P         .EQU    0D0H    ;флаг четности
ACC       .EQU    0E0H    ;адрес аккумулятора А (00000000)
;прямые адреса отдельных битов аккумулятора:
ACC.7     .EQU    0E7H    ;адрес бита 7 аккумулятора А
ACC.6     .EQU    0E6H    ;адрес бита 6 аккумулятора А
ACC.5     .EQU    0E5H    ;адрес бита 5 аккумулятора А
ACC.4     .EQU    0E4H    ;адрес бита 4 аккумулятора А
ACC.3     .EQU    0E3H    ;адрес бита 3 аккумулятора А
ACC.2     .EQU    0E2H    ;адрес бита 2 аккумулятора А
ACC.1     .EQU    0E1H    ;адрес бита 1 аккумулятора А
ACC.0     .EQU    0E0H    ;адрес бита 0 аккумулятора А
B         .EQU    0F0H    ;адрес дополнительного аккумулятора В (00000000)
#ENDIF    ;директива окончания файла Snames.inc

```

Приложение Б

Текст файла «Project.asm» программы для микроконтроллера AT89S53

```
#INCLUDE "SNAMES.INC" ;обращение к файлу объявления символических имен
; Присвоение символических имен адресам:
ST EQU 020H ;ячейка ПАОЗУ опроса текущего состояния органов
управления
ST0 EQU 000H ;бит 0 ST текущего состояния органа управления работой
СЗЕН
ST1 EQU 001H ;бит 1 ST текущего состояния органа управления работой
СЧСП
STD EQU 030H ;ячейка ОЗУ промежуточного опроса при подавлении дребезга
STMEM EQU 031H ;ячейка ОЗУ предыдущего опроса состояния органов
управления
SA1L EQU 032H ;ячейка ОЗУ младшего байта результата опроса модуля SA1
SA1H EQU 033H ;ячейка ОЗУ старшего байта результата опроса модуля SA1
SA2L EQU 034H ;ячейка ОЗУ младшего байта результата опроса модуля SA2
SA2H EQU 035H ;ячейка ОЗУ старшего байта результата опроса модуля SA2
;
RCS EQU 021H ;ячейка ПАОЗУ регистрации состояния системы
MDE EQU 008H ;бит регистрации аварийной ситуации или ошибки работы
СЗЕН
MVOL EQU 009H ;бит регистрации предварительного заряда ЕН
MACT EQU 00AH ;бит регистрации работы СЧСП
MREQF EQU 00BH ;бит регистрации требования окончания цикла работы СЧСП
MT12 EQU 00CH ;бит регистрации отсчета интервала времени T12
MT23 EQU 00DH ;бит регистрации отсчета интервала времени T23
;
ICPU EQU P0.0 ;бит индикации готовности МПС
ISYSC EQU P0.1 ;бит индикации работы СЗЕН
ISYSP EQU P0.2 ;бит индикации работы СЧСП
IVOL EQU P0.3 ;бит индикации предварительного заряда ЕН
IERR EQU P0.4 ;бит индикации ошибки работы СЗЕН
IDAM EQU P0.5 ;бит индикации аварийной ситуации
;
VS1 EQU P3.7 ;бит подачи сигнала на тиристор VS1 СЧСП
VS2 EQU P3.6 ;бит подачи сигнала на тиристор VS2 СЧСП
VS3 EQU P3.5 ;бит подачи сигнала на тиристор VS3 СЧСП
VSOPT EQU P3.4 ;бит подачи сигнала на оптотиристоры СЗЕН
;
; Присвоение символических имен константам:
DRET EQU 5 ;количество циклов подавления дребезга
MULT1 EQU 100 ;масштабный коэффициент угла управления выпрямителем
MULT2 EQU 250 ;масштабный коэффициент временного интервала T12
```

```

POPTL .EQU 058H ;младший байт выдержки сигнала управления
оптотиристорами
PORTH .EQU 002H ;старший байт выдержки сигнала управления оптотиристорами
T23L .EQU 020H ;младший байт интервала между подачей импульсов на VS2,
VS3
T23H .EQU 003H ;старший байт интервала между подачей импульсов на VS2,
VS3
T31L .EQU 084H ;младший байт интервала между подачей импульсов на VS3,
VS1
T31H .EQU 003H ;старший байт интервала между подачей импульсов на VS3,
VS1
IMPN .EQU 10 ;начальное значение счета импульсов предварительного заряда
IMPM .EQU 20 ;предельное значение счета импульсов предварительного
заряда
;
; Переходы к основной программе и подпрограммам обслуживания прерываний
.ORG 0000H ;установка начального адреса ПЗУ
LJMP BEGIN ;переход на метку начала программы BEGIN
.ORG 0003H ;установка начального адреса подпрограммы обслуживания
LJMP INT0 ;внешнего прерывания INT0 и переход на метку INT0
.ORG 000BH ;установка начального адреса подпрограммы обслуживания
LJMP T0 ;прерывания от таймера-счетчика T0 и переход на метку T0
.ORG 0013H ;установка начального адреса подпрограммы обслуживания
LJMP INT1 ;внешнего прерывания INT1 и переход на метку INT1
.ORG 001BH ;установка начального адреса подпрограммы обслуживания
LJMP T1 ;прерывания от таймера-счетчика T1 и переход на метку T1
.ORG 002BH ;установка начального адреса подпрограммы обслуживания
LJMP T2 ;прерывания от таймера-счетчика T2 и переход на метку T2
;
; УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА
;
BEGIN: .ORG 0040H ;НАЧАЛО управляющей программы с адреса 0040H
SETB EA ;глобальное разрешение прерываний
SETB PX1 ;установка приоритета внешнего прерывания INT1
SETB IT0 ;выбор среза, как источника прерывания для INT0
SETB IT1 ;выбор среза, как источника прерывания для INT1
MOV RCS,#00H ;установка RCS в начальное состояние
MOV TMOD,#011H ;выбор режима 16-разрядного таймера для T0 и T1
MOV ST,#00000011B ;сброс текущего опроса состояния органов управления в
;начальное положение (SB1 и SB2 выключены)
CLR ICPU ;индикация готовности системы управления
L009: MOV STMEM,ST ;запоминание предыдущего состояния управления
L010: MOV R3,#DRET ;установка счетчика циклов подавления дребезга
L011: LCALL DELAY1 ;вызов подпрограммы временной задержки DELAY1
MOV A,P3 ;считывание содержимого порта P3
ANL A,#00000011B ;выделение информации о состоянии линий P3.0 и P3.1
CJNE A,STD,L022 ;переход на L022, если опрос не совпадает с STD (дребезг)
CJNE R3,#00H,L023 ;переход на L023, если не пройдены все циклы
;дребезга контактов (счетчик не достиг нуля), иначе
MOV ST,A ;формирование текущего состояния органов управления
XRL A,STMEM ;сравнение текущего состояния с предыдущим

```

	JB	ACC.0,L024	;переход на L024, если состояние SB1 изменилось
L019:	MOV	A,ST	;повторное сравнение текущего состояния
	XRL	A,STMEM	;с предыдущим
	JB	ACC.1,L059	;переход на L059, если состояние SB2 изменилось
	AJMP	L009	;возврат на L009 для очередного опроса управления
L022:	MOV	STD,A	;запоминание не совпавшего результата опроса
	AJMP	L010	;возврат на L010 для очередного промежуточного опроса
L023:	DEC	R3	;отриц. приращение счетчика циклов дребезга
	AJMP	L011	;возврат на L011 для очередного промежуточного опроса
L024:	JB	ST0,L051	;переход на L051, если тумблер SB1 выключен, иначе
	JB	MDE,L019	;переход на L019, если обнаружена ошибка или авария,
	JB	MACT,H086	;переход на L086, если зарегистрирована работа СЧСП,
	MOV	B,P1	;опрос модуля переключателей SA1 (порт P1)
	MOV	R0,#SA1L	;загрузка регистра адресации R0 адресом SA1L
	MOV	R1,#SA1H	;загрузка регистра адресации R1 адресом SA1H
	MOV	R2,#MULT1	;загрузка в R2 масштабного множителя MULT1
	LCALL	MULT	;вызов подпрограммы MULT
	CJNE	A,#0DCH,L033	;переход на L033, если значение не совпадает с
			;минимально допустимым, иначе
	AJMP	L036	;безусловный переход на L036 без изменения значения
H086:	LJMP	L086	;(вспомогательная метка для перехода на L086)
L033:	JNC	L036	;переход на L036, если оно больше
			;минимально допустимого, иначе
	MOV	SA1H,#0DCH	;загрузка в SA1H минимального допустимого значения
	MOV	SA1L,#0D7H	;загрузка в SA1L минимального допустимого значения
L036:	MOV	TL0,SA1L	;загрузка младшего байта TL0 таймера T0
	MOV	TH0,SA1H	;загрузка старшего байта TH0 таймера T0
	MOV	TL2,#(0FFH-POPTL)	;загрузка младшего байта TL2 таймера T2
	MOV	TH2,#(0FFH-POPTH)	;загрузка старшего байта TH2 таймера T2
	MOV	RCAP2L,#(0FFH-POPTL)	;загрузка младшего регистра автоперезагрузки
	MOV	RCAP2H,#(0FFH-POPTH)	;загрузка старшего регистра автоперезагрузки
	MOV	R4,#IMPN	;установка счетчика импульсов предварительного заряда
	CLR	MVOL	;сброс регистрации предварительного заряда
	CLR	IE0	;сброс бита запроса прерывания от INT0
	CLR	TF0	;сброс бита запроса на обслуживание прерывания от T0
	CLR	TF2	;сброс бита запроса на обслуживание прерывания от T2
	SETB	EX0	;разрешение отслеживания сигналов ДФНС с входа INT0
	SETB	ET0	;разрешение прерывания от таймера T0
	SETB	ET2	;разрешение прерывания от таймера T2
	CLR	ISYSC	;индикация работы СЗЕН
	LJMP	L019	;переход на L019 для обработки состояния тумблера SB2
L051:	CLR	EX0	;запрещение отслеживания сигналов ДФНС с входа INT0
	CLR	EX1	;запрещение отслеживания сигналов ДНЕН с входа INT1
	CLR	ET0	;запрещение прерывания от таймера T0
	CLR	ET2	;запрещение прерывания от таймера T2
	CLR	MVOL	;сброс регистрации предварительного заряда
	SETB	IVOL	;гашение индикатора предварительного заряда
	SETB	ISYSC	;гашение индикатора работы СЗЕН
	JB	ST1,L081	;переход на L081, если тумблер SB2 выключен, иначе
	LJMP	L019	;переход на L019 для обработки состояния тумблера SB2
L059:	JB	ST1,L081	;переход на L081, если тумблер SB2 выключен, иначе

	JB	MDE,H009	;переход на L009, если обнаружена ошибка или авария,
	JNB	MVOL,L086	;переход на L086, если нет предварительного заряда EH,
	MOV	B,P2	;опрос модуля переключателей SA2 (порт P2)
	MOV	R0,#SA2L	;загрузка регистра косвенной адресации R0 адресом
	MOV	R1,#SA2H	;загрузка регистра косвенной адресации R1 адресом
	MOV	R2,#MULT2	;загрузка в R2 масштабного множителя MULT2
	LCALL	MULT	;вызов подпрограммы MULT
	CJNE	A,#0FCH,L068	;переход на L068, если значение не совпадает с
			;максимально допустимым, иначе
L068:	AJMP	L071	;безусловный переход на L071 без изменения значения
	JC	L071	;переход на L071 без изменения значения, если оно не
			;превышает максимально допустимого, иначе
	MOV	SA2H,#0FCH	;загрузка в SA2H максимально допустимого значения
	MOV	SA2L,#07BH	;загрузка в SA2L максимально допустимого значения
L071:	MOV	TL1,SA2L	;загрузка младшего байта TL1 таймера T1
	MOV	TH1,SA2H	;загрузка старшего байта TL1 таймера T1
	CLR	MREQF	;сброс требования окончания работы СЧСП
	SETB	MT12	;регистрация отсчета интервала T12
	CLR	MT23	;сброс регистрации отсчета интервала T23
	CLR	TF1	;сброс бита запроса на обслуживание прерывания от T1
	SETB	ET1	;разрешение прерывания от таймера T1
	SETB	TR1	;запуск таймера T1 на отсчет интервала T12
	SETB	MACT	;регистрация работы СЧСП
	CLR	ISYSP	;индикация работы СЧСП
H009:	LJMP	L009	; (вспомогательная метка для перехода на L009)
L081:	SETB	MREQF	;регистрация требования окончания работы СЧСП
	JNB	ST0,H009	;переход на L009, если тумблер SB1 включен, иначе
	SETB	IERR	;гашение индикатора ошибки работы СЗЕН
	SETB	IDAM	;гашение индикатора аварийной ситуации
	CLR	MDE	;сброс регистрации ошибки работы СЗЕН или аварии
	LJMP	L009	;безусловный переход на L009
L086:	CLR	EX0	;запрещение отслеживания сигналов ДФНС с входа INTO
	CLR	EX1	;запрещение отслеживания сигналов ДНЕН с входа INT1
	CLR	ET0	;запрещение прерывания от таймера T0
	CLR	ET2	;запрещение прерывания от таймера T2
	SETB	MREQF	;регистрация требования окончания работы СЧСП
	SETB	MDE	;регистрация ошибки работы СЗЕН
	CLR	IERR	;индикация ошибки работы СЗЕН
	SETB	IVOL	;гашение индикатора предварительного заряда
	SETB	ISYSC	;гашение индикатора работы СЗЕН
	LJMP	L009	;возврат на L009 для очередного опроса управления
			;
			; БЛОК ПОДПРОГРАММ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРЕРЫВАНИЙ
			;
INT0:			;НАЧАЛО подпрограммы обслуживания прерывания от
INT0			
	MOV	TL0,SA1L	;загрузка младшего байта TL0 таймера T0
	MOV	TH0,SA1H	;загрузка старшего байта TH0 таймера T0
	SETB	TR0	;запуск таймера T0 на отсчет угла управления
	CLR	IE0	;сброс бита запроса на прерывания от INT0
	RETI		;КОНЕЦ подпрограммы прерывания от INT0

```

T0:
T0
    CLR    VSOPT      ;установка сигнала управления оптотиристорами СЗЕН
    SETB   TR2        ;запуск таймера Т2 выдержки сигнала управления
    CLR    TR0        ;сброс бита пуска/останова таймера Т0
    JB     MACT,T0E   ;переход на Т0Е, если зарегистрирована работа СЧСП,
    CLR    VS3        ;установка сигнала управления тиристором VS3 СЧСП
    LCALL  DELAY2     ;вызов подпрограммы временной задержки DELAY2
    SETB   VS3        ;снятие сигнала управления с тиристора VS3 СЧСП
    JB     MVOL,T0E   ;переход на Т0Е, если зарегистрирован предварительный
    ;заряд ЕН, иначе
    JB     P3.3,L118  ;переход на L118, если есть напряжение на ЕН, иначе
    INC    R4         ;положительное приращение счетчика импульсов
    CJNE   R4,#IMPM,T0E ;переход на Т0Е, если счетчик не превысил предельное
    ;значение импульсов предварительного заряда, иначе
    CLR    EX0        ;запрещение отслеживания сигналов ДФНС с входа INT0
    CLR    EX1        ;запрещение отслеживания сигналов ДНЕН с входа INT1
    CLR    ET0        ;запрещение прерывания от таймера Т0
    CLR    ET2        ;запрещение прерывания от таймера Т2
    SETB   VSOPT     ;снятие сигнала управления с оптотиристоров СЗЕН
    SETB   MDE        ;регистрация ошибки работы СЗЕН
    CLR    IERR       ;индикация ошибки работы СЗЕН
    SETB   ISYSC      ;гашение индикатора работы СЗЕН
    AJMP   T0E        ;безусловный переход на Т0Е
L118: DEC    R4         ;отрицательное приращение счетчика импульсов
    CJNE   R4,#00H,T0E ;переход на Т0Е, если счетчик не достиг нуля
    SETB   MVOL       ;регистрация предварительного заряда ЕН
    CLR    IVOL       ;регистрация предварительного заряда ЕН
    CLR    IE1        ;сброс бита запроса на прерывания от INT1
    SETB   EX1        ;разрешение отслеживания сигналов ДНЕН с входа INT1
T0E: RETI           ;КОНЕЦ подпрограммы обработки прерывания от Т0
    ;
T1:
    ;НАЧАЛО подпрограммы обработки прерывания от Т1
    CLR    TR1        ;сброс бита пуска/останова таймера Т1
    CLR    TF1        ;сброс бита запроса на обслуживание прерывания от Т1
    JB     MT23,L143  ;переход на L143, если зарегистрирован отсчет Т23
    JB     MT12,L135  ;переход на L135, если зарегистрирован отсчет Т12
    MOV    TL1,SA2L   ;загрузка младшего байта TL1 таймера Т1
    MOV    TH1,SA2H   ;загрузка старшего байта TH1 таймера Т1
    SETB   TR1        ;запуск таймера Т1 на отсчет интервала Т12
    CLR    VS1        ;установка сигнала управления тиристором VS1 СЧСП
    LCALL  DELAY2     ;вызов подпрограммы временной задержки DELAY2
    SETB   VS1        ;снятие сигнала управления с тиристора VS1 СЧСП
    SETB   MT12       ;регистрация отсчета интервала Т12
    AJMP   T1E        ; безусловный переход на Т1Е
L135: MOV    TL1,#(0FFH-T23L) ;загрузка младшего байта TL1 таймера Т1
    MOV    TH1,#(0FFH-T23H) ;загрузка старшего байта TH1 таймера Т1
    SETB   TR1        ;запуск таймера Т1 на отсчет интервала Т23
    CLR    VS2        ;установка сигнала управления тиристором VS2 СЧСП
    LCALL  DELAY2     ;вызов подпрограммы временной задержки DELAY2

```

```

        SETB  VS2          ;снятие сигнала управления с тиристора VS2 СЧСП
        CLR   MT12         ;сброс регистрации отсчета интервала T12
        SETB  MT23         ;регистрация отсчета интервала T23
        AJMP  T1E          ;безусловный переход на T1E
L143:  JB     MREQF,L151   ;переход на L151, если требуется окончание работы
        MOV   TL1,#(0FFH-T31L) ;загрузка младшего байта TL1 таймера T1
        MOV   TH1,#(0FFH-T31H) ;загрузка старшего байта TH1 таймера T1
        SETB  TR1          ;запуск таймера T1 на отсчет интервала T31
        CLR   VS3          ;установка сигнала управления тиристором VS3 СЧСП
        LCALL DELAY2       ;вызов подпрограммы временной задержки DELAY2
        SETB  VS3          ;снятие сигнала управления с тиристора VS3 СЧСП
        CLR   MT23         ;сброс регистрации отсчета интервала T23
        AJMP  T1E          ; безусловный переход на T1E
L151:  CLR   MACT          ;сброс регистрации работы СЧСП
        SETB  ISYSP        ;гашение индикатора работы СЧСП
T1E:   RETI                ;КОНЕЦ подпрограммы обработки прерывания от T1
        ;
T2:    ;НАЧАЛО подпрограммы обработки прерывания от T2
        SETB  VSOPT        ;снятие сигнала управления оптотиристорами СЗЕН
        CLR   TR2          ;сброс бита пуска/останова таймера T2
        CLR   TF2          ;сброс бита запроса на обслуживание прерывания от T2
        RETI                ;КОНЕЦ подпрограммы обработки прерывания от T2
        ;
INT1:  ;НАЧАЛО подпрограммы обработки прерывания от
INT1   MOV   P3,#0FFH      ;снятие всех сигналов управления
        MOV   IE,#10000000B ;запрещение прерываний
        LCALL DELAY3       ;вызов подпрограммы временной задержки DELAY3
        CLR   VS2          ;установка сигнала управления тиристором VS2 СЧСП
        LCALL DELAY2       ;вызов подпрограммы временной задержки DELAY2
        SETB  VS2          ;снятие сигнала управления с тиристора VS2 СЧСП
        LCALL DELAY3       ;вызов подпрограммы временной задержки DELAY3
        SETB  ISYSC        ;гашение индикатора работы СЗЕН
        SETB  ISYSP        ;гашение индикатора работы СЧСП
        SETB  IVOL         ;гашение индикатора предварительного заряда
        CLR   IDAM         ;индикация аварийной ситуации
        SETB  MDE          ;регистрация аварийной ситуации
        CLR   MACT          ;сброс регистрации работы СЧСП
        CLR   MVOL         ;сброс регистрации предварительного заряда ЕН
        MOV   DPTR,#L009   ;загрузка адреса 16-разрядной метки L009 в регистр
DPTR   MOV   SP,#007H      ;возврат указателя стека в начальное состояние
        PUSH  DP0L         ;загрузка в стек младшего байта регистра DPTR
        PUSH  DP0H         ;загрузка в стек старшего байта регистра DPTR
        RETI                ;КОНЕЦ подпрограммы обработки прерывания от INT1
        ;
        ; БЛОК ПОДПРОГРАММ
        ;
MULT:  ;НАЧАЛО подпрограммы MULT
        MOV   A,R2         ;пересылка масштабного множителя из R2 в A
        MUL  AB            ;произведение содержимого A на B

```

```

MOV    @R0,A      ;пересылка младшего байта результата произведения
MOV    @R1,B      ;пересылка старшего байта результата произведения
MOV    A,#0FFH    ;загрузка в A константы 0FFH
CLR    C          ;сброс флага переноса
SUBB   A,@R0      ;вычитание из A младшего байта результата
MOV    @R0,A      ;пересылка результата в косвенно адресуемую ячейку
MOV    A,#0FFH    ;загрузка в A константы 0FFH
SUBB   A,@R1      ;вычитание из A старшего байта результата
MOV    @R1,A      ;пересылка результата в косвенно адресуемую ячейку
RET                                ;КОНЕЦ подпрограммы MULT
DELAY1:                               ;НАЧАЛО подпрограммы DELAY1 задержки на 100мкс
NOP
NOP
;   .....
NOP                                ;количество команд NOP с учетом задержек на вызов и
NOP                                ;возврат из подпрограммы составляет 96 команд
RET                                ;КОНЕЦ подпрограммы DELAY1
DELAY2:                               ;НАЧАЛО подпрограммы DELAY2 задержки на 10мкс
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
RET                                ;КОНЕЦ подпрограммы DELAY2
DELAY3:                               ;НАЧАЛО подпрограммы DELAY3 на 11650 мкс
.ORG   2FFDH      ;нижеследующая команда с адреса 2FFDH ПЗУ
RET                                ;КОНЕЦ подпрограммы DELAY3
;
.END                               ;директива окончания трансляции файла
;символ последней строки файла «End Of File»

```


Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Конденсаторы</u>		
С1	К10-59-16В-10мкФ±20%	1	
С2, С3	К10-17А-М47-30пФ±5%	2	
С4	К10-17Б-0,22мкФ±20%	1	
С5	АСКСОН-350В-470мкФ±5%	1	
С6	К57-17-1кВ-50мкФ±10%	1	
С7	МБГО-300В-30мкФ±10%	1	
С8	К10-17Б-0,47мкФ±5%	1	
	<u>Микросхемы</u>		
DD1	АТ89С53 24Р1	1	
DD2	К561ЛЕ5	1	
	<u>Предохранители</u>		
FU1	ПП57-3127-25-У3	1	
	<u>Дроссели</u>		
LD1	Дроссель	1	W = 2
LD2	Дроссель-0,076мГн	1	W = 36

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Система питания. Перечень элементов ТГУ, ЭЛБз-1231					
Разраб.	Жариков И.В.							Лит.	Лист	Листов
Провер.	Прядилов А.В.								1	4
Н. контр.										
Утв.	Шевцов А.А.									

